Laboratoriumsmässige Untersuchungen über die Entzündlichkeit deutscher Kohlenstaube

Von der
TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU BRESLAU
zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

DISSERTATION.

Vorgelegt von
Dipl.-Ing. Arthur SIMON
aus Beuthen (O.-S.)

Berichterstatter:
a. o. Professor Woltersdorf

Gegenberichterstatter:
o. Professor Dr.-Ing. Spackeler

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Mai 1937

Laboratoriumsmässige Untersuchungen über die Entzündlichkeit deutscher Kohlenstaube

Von der
TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU BRESLAU
zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

DISSERTATION.

Vorgelegt von
Dipl.-Ing. Arthur SIMON
aus Beuthen (O.-S.)

Berichterstatter:
a. o. Professor Woltersdorf

Gegenberichterstatter:
o. Professor Dr.-Ing. Spackeler

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Mai 1937

Druck: Wilhelm Hohmann Buchdruckerei, Berlin SW 68.

1937.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsverzeichnis:

		Seite
I.	Einleitung	5
II.	Die Versuchsanordnung und Methode nach Godbert und Greenwald	10
III.	Die Bestimmung der Oberfläche von Stauben	14
IV a)	Der Einfluß der Feinheit von Kohlen- und Gesteinstauben auf die Entzündlichkeit von Kohlenstauben	19
IV b)	Zusammenhang zwischen petrographischer Zusammensetzung der Kohlenstaube und Entzündlichkeit derselben	23
V.	Die mathematische Auswertung der Versuchsergebnisse	26
VI.	Zusammenfassung	34
VII.	Formelverzeichnis	35
VIII.	Anhang (24 Zahlentafeln)	37

Vorliegende Arbeit wurde im physikalischen und chemischen Laboratorium der Oberschlesischen Hauptstelle für das Grubenrettungswesen und Versuchsstrecke, Beuthen O.-S., angefertigt. Dem Leiter dieser Anstalt, Herrn a. o. Professor Bergassessor a. D. Woltersdorf, auf dessen Anregung hin dieses Thema bearbeitet wurde, bin ich für das mir stets bewiesene Wohlwollen und für die wertvollen Ratschläge, durch die meine Arbeit wesentlich gefördert wurde, zu großem Dank verpflichtet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549814_0087

I. Einleitung.

Die Erkenntnis, daß brennbarer Staub in inniger Mischung mit Luft explosionsartig verbrennen kann, ist nahezu hundert Jahre alt. Schon 1845 berichtete Faraday über eine in den Haswellkohlenbergwerken stattgefundene Schlagwetterexplosion und führte deren schwere Folgen auf die Mitbeteiligung des aufgewirbelten Kohlenstaubes an dieser Explosion zurück. Man war sich bald darüber klar, daß für die Entstehung einer Staubexplosion drei Grundfaktoren unerläßlich sind, nämlich

1. brennbarer Staub,
2. Sauerstoff und
3. Energie.

Fehlt einer derselben, so ist eine Staubexplosion unmöglich. Aber auch darüber hinaus kann selbst bei ihrer vollzähligen Anwesenheit keine Staubexplosion eintreten, wenn nicht eine Reihe bestimmter Voraussetzungen erfüllt ist. Es genügt nicht allein, daß brennbarer Staub und Sauerstoff vorhanden sind. Vielmehr muß sich der Staub in möglichst gleichmäßiger Aufteilung in der Atmosphäre befinden, d. h. er muß eine Staubwolke bilden. Ferner müssen Staubkonzentration und Sauerstoffgehalt der Atmosphäre in einem bestimmten optimalen Verhältnis zueinander stehen. Je weiter man sich von dieser optimalen Staubkonzentration sowohl nach unten als auch nach oben entfernt, desto ungünstiger werden die Bedingungen für eine Staubexplosion, bis sowohl bei einer gewissen oberen, als auch bei einer unteren Anreicherungsgrenze des Staubes keine Zündungsmöglichkeit mehr besteht. Diese Zündungs- bezw. Explosionsgrenzen von Staubgemischen stehen hierbei in voller Analogie zu den Explosionsgrenzen der Gemische von brennbarem Gas mit Luft bezw. Sauerstoff.

Für den dritten Grundfaktor, nämlich die Energie, oder besser gesagt, den Energieimpuls, gilt die Forderung, daß derselbe groß genug sein muß, um die einmal eingeleitete Zündung eines Staubluftgemisches selbständig weiterlaufen zu lassen. Durch den Energieimpuls muß also wenigstens ein Volumenelement des Staubluftgemisches auf solch ein thermisches Niveau gebracht werden, daß die aus der exothermen Reaktion der Verbrennung in der Zeiteinheit entstehende Wärmemenge ausreicht, die durch Strahlung oder Wärmeleitung bedingten Wärmeverluste auszugleichen. Steinbrecher hat das sehr treffend so formuliert, daß erst von einer bestimmten Reaktionsgeschwindigkeit an eine eingeleitete Staubentzündung in eine nicht mehr aufzuhaltende Staubexplosion übergehen kann. In dieser Hinsicht besteht zwischen Gasluftgemischen und Staubluftgemischen eine weitgehende Aehnlichkeit. Trotzdem lassen sich beide nicht restlos vergleichen. Es besteht vielmehr in physikalischer Hinsicht ein Unterschied, der gerade dem Staubluftgemisch gegenüber einem Gasgemisch einen grundlegend verschiedenen Charakter verleiht. Ein Gasgemisch ist molekulardispers, besteht also aus Molekülen. Die verschiedenen Moleküle werden von sich aus durch die Wärmebewegung und die Diffusion die Tendenz haben, sich völlig untereinander zu vermischen, sie werden entsprechend dem Gesetze der Entropie einem möglichst ungeordneten Endzustande zustreben. Dieser Endzustand völlig gleichmäßiger Vermischung mehrerer Gaskomponenten ist also stationär und wird auch durch die Schwerkraft der Erde praktisch nicht beeinflußt, da dieses Kraftfeld gegenüber der kinetischen Energie der Moleküle nicht ins Gewicht fällt. Anders verhält sich ein Staubluftgemisch. Hier handelt es sich um die Aufteilung eines im festen Aggregatzustande befindlichen Stoffes in einem gasförmigen Medium. Selbst wenn dieser Stoff feinstens pulverisiert, d. h. von sehr geringer Korngröße ist, wird doch gegenüber der Molekulargröße ein gewaltiger Unterschied bestehen. Man bezeichnet deshalb ein Staubluftgemisch unter 0,1 μ als kolloiddispers und darüber als grobdispers. Für Feinkohlenstaub überwiegt die grobdisperse im allgemeinen die

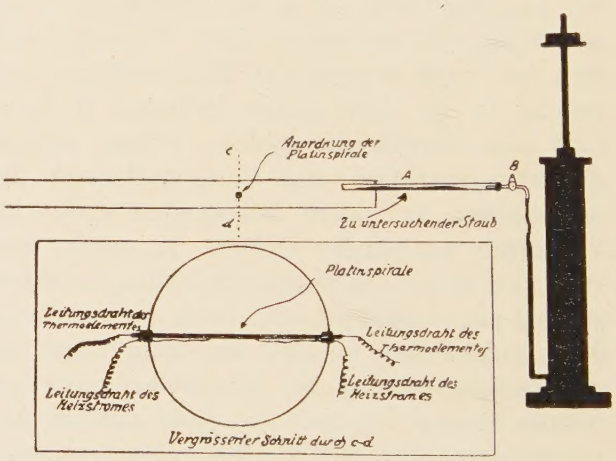
kolloiddisperse Phase, so daß es deshalb angebracht erscheint, im folgenden lediglich die grobdisperse Phase ins Auge zu fassen.

Es ist einleuchtend, daß für kolloiddisperse bezw. grobdisperse Systeme andere physikalische Gesetzmäßigkeiten gelten müssen, als für molekulardisperse. Von einer durch Wärmebewegung bedingten kinetischen Energie der Teilchen kann keine Rede sein. Sie erhalten zwar, wenigstens bezüglich der kolloiddispersen Phase, durch die Zusammenstöße mit den umgebenden Gasmolekülen gewisse kinetische Impulse, die als Brown'sche Bewegung in Erscheinung treten. Da aber die Größe der Teilchen die der Moleküle außerordentlich übertrifft, wird irgendein wesentliches Bewegungsmoment der ersteren dadurch nicht verursacht. Dagegen wird die Schwerkraft der Erde nunmehr dem Staubteilchen, vor allem, wenn es der grobdispersen Phase angehört, eine gewisse nach der Erdoberfläche zu gerichtete Geschwindigkeit verleihen, die gemäß dem Stoke'schen Gesetz von der Größe des Teilchens, seiner Dichte und der Dichte und Zähigkeit des umgebenden Gasmediums abhängt. Der grobdisperse Zustand einer Staubwolke ist also nicht stationär, sondern temporär; er strebt von Anfang an dem Endzustande völliger Entmischung, d. h. dem Absetzen des Staubes am Boden zu. Dieser Umstand ist für die Erforschung von Staubluftgemischen von maßgebender Bedeutung und hat infolge der dadurch gegebenen experimentellen Schwierigkeiten auch dazu geführt, daß wir bezüglich der reaktionskinetischen Vorgänge in grobdispersen Systemen noch weit von dem Stande der Erkenntnis der Vorgänge der molekulardispersen Systeme entfernt sind.

Durch die stark zunehmende Industrialisierung, von Mitte vorigen Jahrhunderts ab, häuften sich die Unglücksfälle durch Staubexplosionen entsprechend, wodurch das Problem der Entzündlichkeit von brennbarem Staub immer dringender wurde. Es ist dabei interessant, festzustellen, daß die Forschung zur Lösung der ihr gestellten Aufgabe der Bekämpfung der Staubgefährlichkeit zwei Wege beschritt. Beide — nämlich der Kleinversuch im Laboratorium und der Großversuch in der Versuchsstrecke bezw. Versuchsgrube — haben jede zu ihrer eigenen Disziplin geführt und sind heute aus der Methodik der Stauberforschung nicht mehr fortzudenken. Es liegt in der Eigenart des grobdispersen Zustandes — nämlich zeitlich veränderlich zu sein — begründet, daß man zunächst dem Laboratoriumsversuch den Vorzug gab, da man beim Kleinversuch die experimentellen Bedingungen besser in der Hand hatte. Schon 1875 berichtete Vital[1]) über eine Methode, bei der Kohlenstaub durch eine Gasflamme in ein Glasrohr geblasen wurde. Aus der Größe der bei der Zündung des Kohlenstaubes entstehenden Flamme glaubte er gewisse Schlüsse auf die Zündgefährlichkeit des Kohlenstaubes ziehen zu können. Diese Versuchsanordnung war primitiv und bewegte sich lediglich im Rahmen einer rein qualitativen Beurteilung.

Einen gewissen Fortschritt stellt die Methode von Taffanel und Durr[2]) dar, die sich zwar in den Vital'schen Bahnen hält, aber versucht, durch fotogrammetrische Auswertung des Flammenbildes eine qualitative Auswertung zu erreichen. Bei dieser Methode wird eine bestimmte Menge Staub aus einem Rohr durch einen Sauerstoffstrom in eine genau definierte Benzolflamme geblasen und das Flammenbild fotografisch bestimmt, sowie flächenmäßig ausgewertet.

Einen anderen Weg beschritt Wheeler[3]), der erstmalig versuchte, die Entzündungstemperatur von brennbaren Stauben zu bestimmen. Seine Apparatur ist in folgender Abb. dargestellt.



Aus einem Luftbehälter C, der Luft von konstantem Ueberdruck enthält, wird durch Oeff-

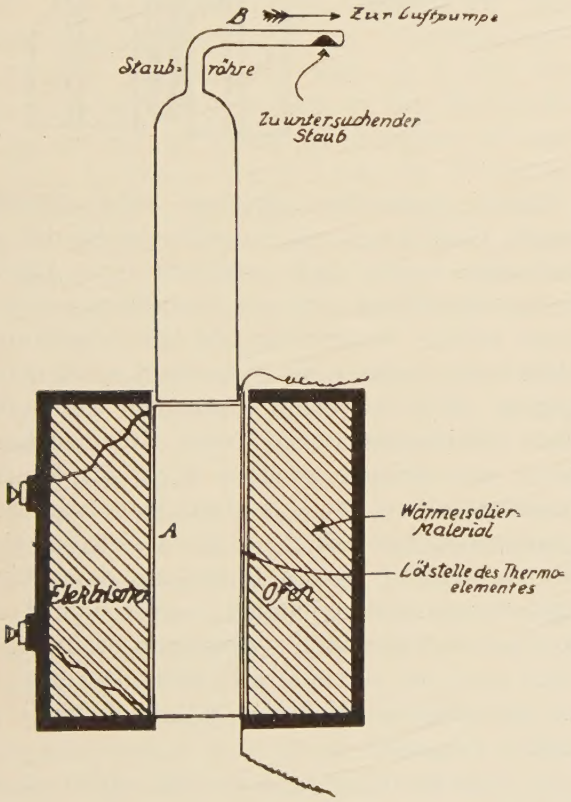
[1]) Vital: Annales des mines, Ser. 7, vol. 7 (1875), S. 180.

[2]) Taffanel und Durr: Compte-rendu 152, 1911. „Cinquième série d'essais sur les inflammations de poussières". Paris 1911. Comité central des houillières de France.

[3]) R. V. Wheeler: Journ. Chem. Soc. London 103, S. 1715.

nen des Hahnes B ein Luftstoß erzeugt, der den im Glasrohr A befindlichen Staub aufgewirbelt in ein weiteres Glasrohr befördert. In diesem befindet sich eine Platinspirale, die durch regelbare elektrische Heizung auf Temperaturen bis zu 1400° C gebracht werden kann, deren Messung durch ein Thermoelement erfolgt. Hierbei wird die Temperatur solange erhöht bezw. erniedrigt, bis gerade eine schwache Zündung des Staubes eintritt.

Wheeler hat mit dieser Apparatur zahlreiche Staube untersucht und bald festgestellt, daß ein glühender Platindraht als Zündinitiale infolge seiner geringen Oberfläche nur gewisse Anhaltswerte lieferte, jedoch das erstrebte Ziel, nämlich die niedrigste Entzündungstemperatur zu erhalten, nicht erreicht wurde. Deshalb baute er eine neue Apparatur, bei der die zündende Oberfläche bewußt vergrößert wurde.



Wie aus obiger Abb. zu ersehen ist, dient nunmehr ein elektrischer Heizofen als Wärmequelle und ein in denselben eingeführtes Kupferdrahtnetz als Zündfläche. Die Temperatur wurde ebenfalls thermoelektrisch bestimmt und der Staub von oben durch einen Luftstoß eingeblasen. Auf Grund seiner sehr zahlreichen Versuche mit den verschiedenartigsten Stauben kam Wheeler zu einer Klasseneinteilung der brennbaren Staube und zwar:

Klasse I leicht entzündlich,
„ II nur bedingt leicht entzündlich, und
„ III schwer oder gar nicht entzündlich.

Es ist in diesem Zusammenhang interessant, festzustellen, daß durch diese Einteilung bereits klar zutage trat, daß nicht alle brennbaren Staube auch entzündlich sind, sondern daß es eine Gruppe (Klasse III) von brennbaren Stoffen gibt, die in Staubform einer Entzündung bezw. Explosion nicht fähig sind. Dieses Ergebnis war zweifelsohne von erheblicher Tragweite und hat bereits durch den Vergleich der entzündbaren mit den nicht entzündbaren brennbaren Stauben gewiße Folgerungen auf den Reaktionsmechanismus der Staubexplosion gezeitigt.

Eine Verbesserung der Wheeler'schen Versuchsmethode stellte eine Apparatur von Beyersdorfer[4]) dar, der damit die „absolute" Entzündungstemperatur von Zuckerstaub genau bestimmte. Eine Anwendung auf andere brennbare Staube hat diese zweifelsohne bemerkenswerte Apparatur nicht gefunden, da in der Zwischenzeit die Methodik der Erforschung der Staubentzündlichkeit sich in einer anderen Richtung, nämlich der der Explosionsdruckmessung, fortentwickelt hatte.

1917 berichtete Brown[5]) über unbefriedigende Ergebnisse bei seinen Messungen nach den Methoden von Taffanel und Wheeler. Diese und andere vorliegende Resultate waren der Anstoß, von der Bestimmung der Zündungstemperatur als relatives Maß der Entzündlichkeit ganz abzugehen und auf den Vorschlag von Bedson und Widdas[6]) zurückzugreifen und den Explosionsdruck als Grundlage für eine neue Methode zu wählen.

Im U. S. Bureau of Mines wurde nunmehr von Frazer, Hoffmann, Clement und Lawrence[7]) eine Methode entwickelt, die infolge ihrer brauchbaren Ergebnisse eine Zeitlang als amerikanische Standardmethode angesehen

---

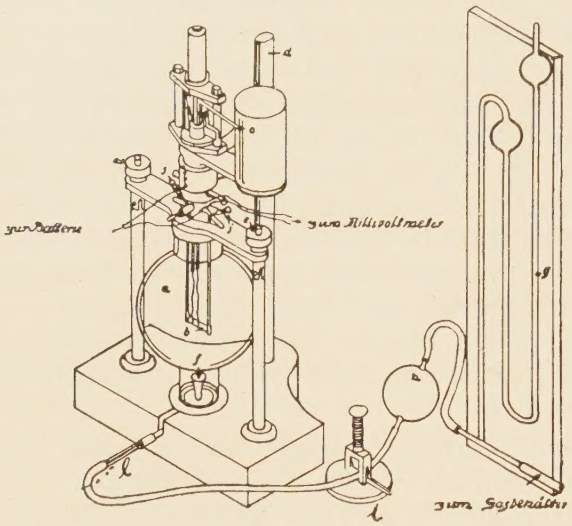
[4]) P. Beyersdorfer: Ber. Dtsch. Chem. Ges. 55 (1922), S. 2568. — Ztschr. Ver. Dtsch. Zuck.-Ind. 72 (1922), S. 475.

[5]) H. H. Brown: Journ. Ind. Eng. Chem. 1917, S. 269.

[6]) Bedson und Widdas: Trans. Inst. Min. Eng. 32 (1907), S. 529.

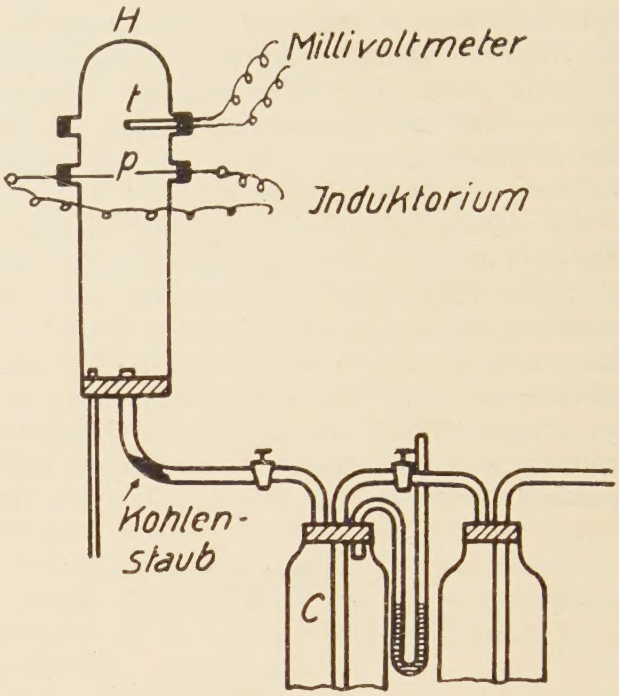
[7]) J. C. W. Frazer, E. J. Hoffmann und L. A. Scholl: U. S. Bureau of Mines, Bull. 50 (1913), S. 60. — J. K. Clement und L. A. Scholl: U.S. Bureau of Mines, Bull. 102 (1916), S. 76. — J. K. Clement und J. N. Lawrence: U.S. Bureau of Mines, Techn. Paper 141 (1917), S. 27.

wurde. Die Apparatur zur Bestimmung der relativen Entzündlichkeit nach Clement-Frazer ist in folgender Abb. wiedergegeben.



Sie bestand aus einem Explosionskolben, der in der Mitte die Zündinitiale b (elektrisch geheizte Platinspirale) enthielt und deren Temperatur thermoelektrisch gemessen wurde. In einem Napf f befand sich der Staub, der durch einen Luftstoß von bestimmtem Druck gegen den heißen Platindraht geblasen wurde. An einem Crosby-Manometer c wurde dann der maximale Druck abgelesen. Diese Methode lieferte zwei sehr wesentliche Ergebnisse, nämlich einmal, daß bei allen entzündlichen Stauben der Explosionsdruck von der Entzündungstemperatur abhängt, und zwar mit steigender Temperatur größer wird, und ferner, daß bei Kohlenstauben ein Zusammenhang zwischen Explosionsdruck und Gehalt der Kohle an flüchtigen brennbaren Bestandteilen besteht.

Trotz ihrer relativen Zuverlässigkeit ist jedoch die Explosionsdruckmessung späterhin durch neue Methoden abgelöst worden. Von Trostel-Frevert[8]) wurde die Apparatur von Clement-Frazer so modifiziert, daß damit die untere Explosionsgrenze bestimmt werden konnte. Fast gleichzeitig stellten auch von Walther und Steinbrecher[9]) Versuche in dieser Richtung an und entwickelten eine neue Versuchsanordnung gemäß nachstehender Abbildung, mit der sie die Explosionsgrenzen von Braunkohlenstauben bestimmten.



Diese Apparatur vereinigt sehr glücklich große Einfachheit mit Zuverlässigkeit der Ergebnisse, wenn auch vorläufig ihre Anwendungsmöglichkeit sich auf besonders entzündliche Staube beschränkt, da die Zündinitiale (Induktionsfunken) für schwerer entzündliche Staube nicht ausreicht. Aus dem umfangreichen Versuchsmaterial von Steinbrecher[10]) seien nur einige besonders wichtige Momente herausgegriffen. Die schon von Beyersdorfer[11]) ausgesprochene Ansicht, daß es sich bei einer Staubexplosion letzten Endes um eine sekundäre Gasexplosion handelt, wurde von Steinbrecher experimentell weitgehend erhärtet. Er wies nach, daß die untere Explosionsgrenze, die er als relatives Maß der Entzündlichkeit annahm, abhängt

1. von der Staubfeinheit. Mit zunehmender Oberfläche nimmt auch die Entzündlichkeit eines Staubes zu;
2. von der Feuchtigkeit, da dieselbe einmal durch Verdampfen des Wassers explo-

[8]) L. J. Trostel und A. W. Frevert: Chem. Metallurg. Eng. 30 (1924), S. 141. — Uebersetzung: Ztschr. Ver. Dtsch. Zuck.-Ind. 74 (1924), S. 656.

[9]) R. v. Walther und H. Steinbrecher: „Untersuchung über das Verhalten des Kohlenstaubes bei der Verbrennung". Das Braunkohlenarchiv, 1924, Heft 8. — H. Steinbrecher: „Explosionsversuche mit Braunkohlenstaub". Braunkohle, 1925, Heft 11, S. 232.

[10]) H. Steinbrecher: „Wesen, Ursachen und Verhütung der Kohlenstaubexplosionen und Kohlenstaubbrände". Kohle, Koks, Teer, Band 27. Verlag Knapp, Halle (Saale) 1931.

[11]) P. Beyersdorfer: „Staub-Explosionen". Verlag Steinkopff, Dresden-Leipzig 1925.

sionshemmend in thermischer Hinsicht wirkt und dann durch Zusammenballung die freie Oberfläche des Staubes vermindert;

3. vom Aschegehalt;
4. von der Zündinitiale;
5. vom Schwelpunkt;
6. von der chemischen Zusammensetzung der flüchtigen Bestandteile und
7. von der chemischen Struktur des Bitumens.

Diese Faktoren waren natürlich nicht sämtlich neu, sondern teilweise schon länger bekannt oder zumindest theoretisch vermutet. Aber in ihrer übersichtlichen und konkreten Darstellung hat Steinbrecher gezeigt, wie kompliziert der Reaktionsmechanismus einer Staubexplosion ist und wie viele Faktoren auf die Entzündlichkeit eines Staubes Einfluß haben.

Mit der fortschreitenden Erkenntnis der Staubentzündlichkeit und der Bekämpfungsmöglichkeit entwickelten sich im Laufe der Jahre eine Reihe von Verfahren, um die Staubgefahr speziell im Steinkohlenbergbau zu vermindern. An dieser Arbeit waren die Versuchsstrecken aller bergbautreibenden Staaten maßgebend beteiligt, schon aus dem Grunde, weil man glaubte, im Großversuch in der Versuchsstrecke den Verhältnissen in der Praxis möglichst nahe zu kommen.

Von den Faktoren, die einen hemmenden Einfluß auf die Staubentzündlichkeit haben, waren es besonders zwei, nämlich Feuchtigkeit und Aschegehalt, die Aussicht auf Erfolg versprachen. Beide haben in Form des Berieselungsverfahrens und der Gesteinstaubstreuung im Kohlenbergbau Anwendung gefunden. Dabei ist letztere, nämlich die Gesteinstaubstreuung, augenblicklich ausschließlich in Anwendung.[12])

Es war zu erwarten, daß die Ergebnisse der Versuchsstrecken ihre Rückwirkung auf die Laboratoriumsmethoden haben würden, da man den Gehalt eines Kohlenstaubes an inerten Bestandteilen (Asche und Gesteinstaub) an der Grenze der Entzündlichkeit, auch als relatives Maß der Entzündlichkeit eines Staubes ansehen konnte. Man griff auf die alten Methoden von Taffanel und Wheeler zurück und glich sie den inzwischen errungenen Fortschritten in apparativer Hinsicht an. Die Methode von Taffanel erwies sich dabei als ungeeignet, weil die Zündinitiale unzureichend war und man den Sauerstoffstrom bei der Zündung von Stauben nicht entbehren konnte. Solange hochprozentiger Sauerstoff aber angewendet wurde, entfernte man sich von den Verhältnissen in der Praxis zu weit, als daß noch eine Vergleichsmöglichkeit bestand. Erfolgreicher verliefen die Arbeiten mit der verbesserten Wheeler'schen Methode. Durch Zusammenarbeit der britischen und amerikanischen Versuchsanstalten[13]) gelang es, die Apparatur so auszubauen, daß einmal eine direkte Vergleichsmöglichkeit zwischen Großversuchen in der Versuchsstrecke und Laboratoriumsversuchen erreicht und dann erstmalig eine mathematisch auswertbare Abhängigkeit zwischen Feinheit des Kohlenstaubes, Feinheit des Gesteinstaubes und Entzündlichkeit des Staubgemisches gefunden wurde. Letzteres Ergebnis scheint das wichtigere, trotzdem gerade von amerikanischer Seite darauf hingewiesen wird, wie wirtschaftlich bedeutungsvoll die Möglichkeit des teilweisen Ersatzes der kostspieligen Versuche in der Versuchsstrecke durch Laboratoriumsversuche ist.

Es ist das Ziel der vorliegenden Arbeit, die von Godbert und Greenwald[14]) gefundenen, mathematisch fundierten Beziehungen zwischen Feinheit des Staubes und Entzündlichkeit desselben durch Versuche an deutschen Kohlenstauben nachzuprüfen und ihre Anwendbarkeit festzustellen. Dabei ist es erforderlich, sich möglichst genau an die angegebene Versuchsanordnung dieser beiden Forscher zu halten und Aenderungen nur da zu treffen, wo schwerwiegende Gründe dafür vorhanden sind.

[12]) K. Hatzfeld: „Von der Berieselung zum Gesteinstaub". Der Querschlag, 1936, Folge 8, S. 173 ff.

[13]) A. L. Godbert und R. V. Wheeler: „The Relative Inflammability of Coal Dusts". A Laboratory Study. Safety in Mines Research Board. Papers, 56 (1929).

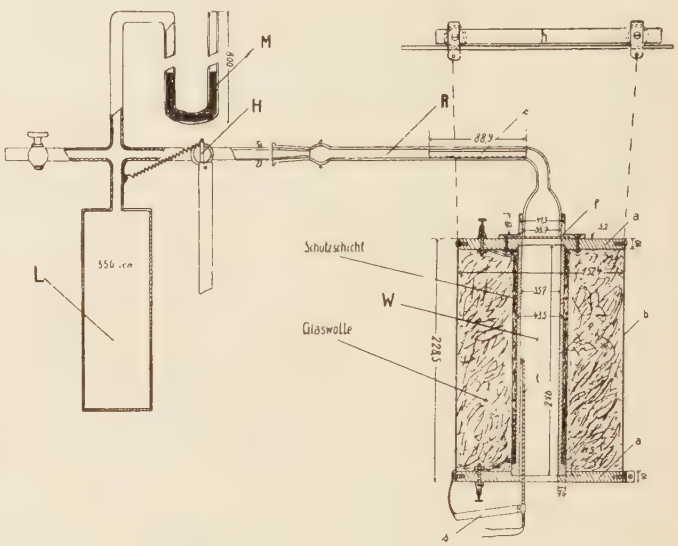
[14]) A. L. Godbert und H. P. Greenwald: „Laboratory Studies on the Inflammability of Coal Dusts. Effect of Fineness of Coal Dusts on the Inflammability of Coal Dusts". U. S. Bureau of Mines, Bulletin 389 / 1935.

II. Die Versuchsanordnung und Methode nach Godbert und Greenwald.

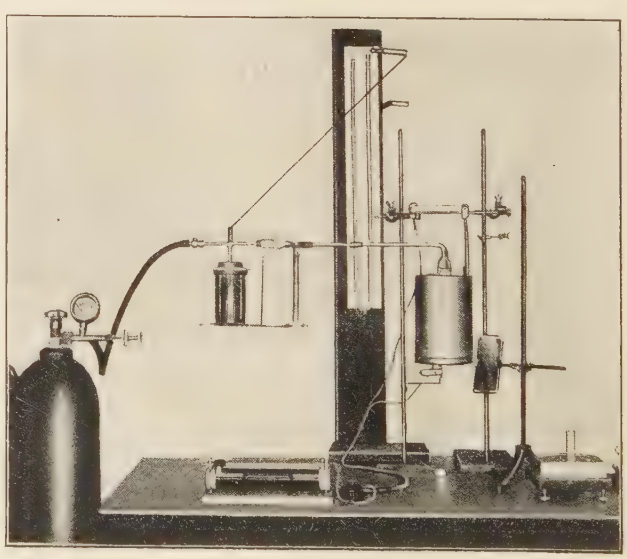
Der wesentlichste apparative Fortschritt der von Godbert und Greenwald weiter ausgestalteten Wheeler'schen Versuchsanordnung ist der, daß die Zündinitiale nunmehr konstant ist. Sowohl Temperatur als auch Zündfläche sind nur noch unbedeutenden Schwankungen unterworfen und können leicht kontrolliert werden, so daß bei allen Versuchen praktisch mit der gleichen Zündinitiale gemessen wird. Da bekanntlich die Zündinitiale auf die Entzündlichkeit eines Staubes Einfluß hat, wird die funktionelle Beziehung zwischen beiden Faktoren dadurch beseitigt, daß im vorliegenden Falle die Zündinitiale den Charakter einer Konstanten erhält. In der Methodik unterscheidet sich die neue Versuchsanordnung von der Wheelerschen dadurch, daß anstelle der niedrigsten Entzündungstemperatur eines Staubluftgemisches der Anteil an Unbrennbarem in dem Grenzgemisch als relatives Maß der Entzündlichkeit genommen wird. Dabei unterscheiden Godbert und Greenwald zwischen dem durch Versuche in der Versuchsgrube gefundenen und dem durch Laboratoriumsversuche bestimmten Grenzgemisch. Ersteres bezeichnen sie als die Explosionsfähigkeit eines Staubes, letzteres als seine Entzündlichkeit.

In folgenden Abbildungen ist die für vorliegende Versuche verwandte Apparatur wiedergegeben; sie weicht von der Originalapparatur nach Godbert und Greenwald nur in einigen nebensächlichen Einzelheiten ab, die teils technisch bedingt sind, weil die genaue Nachahmung unnötige Schwierigkeiten bereitet hätte und teils einige Verbesserungen gegenüber dem Original darstellen.

Die Apparatur besteht aus einem elektrischen Widerstandsofen (W), dem Luftbehälter (L) mit Einlaufhahn (H) und einem an den Luftbehälter angeschlossenen Manometer (M). Der Widerstandsofen besitzt ein Hartporzellanrohr von 216 mm Länge, 35,7 mm innerem und 43,5 mm äußerem Durchmesser. Am unteren Ende desselben befindet sich ein Flansch von 11,5 mm Länge und 50,9 mm äußerem Durchmesser. Auf das Porzellanrohr ist ein Chromnickelband so aufgewickelt, daß von den Enden aus die Zahl der Windungen nach der Mitte zu abnimmt, und zwar beträgt die Zahl



der Windungen an den Enden ca. 7 auf 2,5 cm Rohrlänge und in der Mitte nur noch 4. Dadurch wird erreicht, daß der von der Mitte des Heizrohres aus nach den Enden zu bestehende Temperaturabfall durch die stärkere Heizung

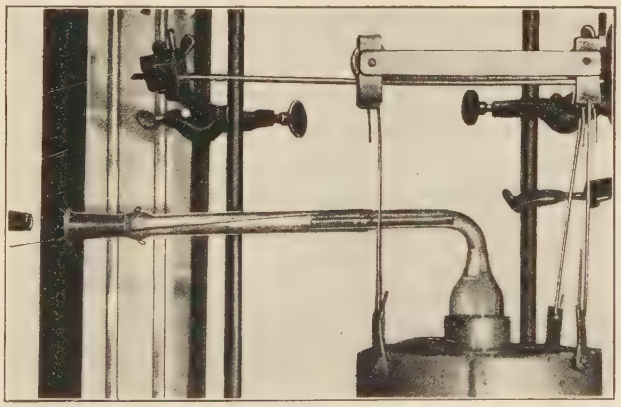


an den Enden etwas ausgeglichen wird. Zum Schutze und besseren Halt der Wickelung ist dann das umwickelte Heizrohr außen mit einer ca. 5 mm starken Schicht von Isolationsmasse Z X der Fa. Haldenwanger, Spandau, umgeben. Diese Isolationsmasse (ein weißes Pulver) wird mit Wasser angerührt und als dicker Brei mit dem Spachtel aufgetragen. Nach 24-stündigem Trocknen ist sie dann zu einer steinharten Schicht erstarrt. Die Verwendung dieser Spezialmasse hatte den Vorteil, daß ihre Wärmeausdehnung der des Porzellanrohres fast gleich war, so daß bei nicht zu raschem Anheizen weder Sprünge noch Risse auftraten. Tatsächlich war auch die Lebensdauer dieses so behandelten Hartporzellanrohres außerordentlich. Trotzdem der Ofen mehr als 1000 Brennstunden hinter sich hat, ist seine Zündfähigkeit während dieser Zeit vollkommen konstant geblieben. Das Heizrohr befindet sich zur thermischen Isolierung in einem Weißblechmantel (b) von ca. 152 mm Durchmesser. Die beiden Enden sind durch ringförmige Asbestplatten (a) von 10 mm Stärke verschlossen. Durch die Asbestplatten sind die Anschlüsse für die Heizwickelung hindurchgeführt; gleichzeitig enthalten beide Asbestplatten innen je eine ringförmige Vertiefung, um dem Heizrohr einen festen Halt zu geben. Der Hohlraum zwischen Heizrohr und Weißblechmantel ist mit Glaswolle ausgefüllt. Dieselbe hat gegenüber Kieselgur den Vorteil der Gewichtsersparnis und der besseren thermischen Isolation.

Zum Messen der Temperatur ist in die untere Oeffnung des Ofens ein Thermoelement (t) so eingeführt, daß sich die wirksame thermische Stelle desselben in der Mitte des Ofens unmittelbar an der Wandung befindet. Zu diesem Zwecke werden die Thermoelementdrähte in einem Isolationsrohr mit zwei Durchführungen eingeführt und die am oberen Ende herausragenden Drahtenden auf eine Strecke von 5 mm zusammengekordelt. Durch dementsprechendes Umbiegen mit einer Zange erreicht man leicht, daß die wirksame thermische Stelle (dort, wo die Drähte auseinandergehen) genau senkrecht auf die Zündfläche zu liegen kommt. Die Anordnung hat ferner den Vorteil, daß das Thermoelement, welches nach mehreren Brennstunden durch Oxydation unzuverlässig wird, leicht ausgewechselt werden kann. Man zwickt dann mit einer Zange einfach das verkordelte Ende ab, zieht die Drähte etwas nach, reinigt sie mit Glaspapier und verkordelt die Enden aufs neue. Auf diese Weise konnte das Thermoelement durch öfteres Erneuern immer in Ordnung gehalten werden.

Das Thermoelement ist in dem Ofen durch einen federnden Weißblechstreifen (s) so gehalten, daß einmal ein Verrücken des Thermoelementes unmöglich war und ferner die thermische Stelle durch einen sanften Druck immer gegen die Ofenwand gepreßt wurde. Verwendet wurde ein Eisen - Konstantan - Thermoelement, dessen Thermokraft durch mehrere Eichmessungen mit Salzschmelzen (KCl) für die Temperaturdifferenz von 20° C bis 720° C zu 40,5 mV bestimmt wurde. Die Ablesung des Thermostromes erfolgte an einem Millivoltmeter, das durch einen geeichten Vorsatzwiderstand auf den notwendigen hohen Meßbereich (bis 54 mV) gebracht worden war.

An dem oberen Ende des Ofens befindet sich schließlich ein durch Schrauben befestigter Messingflansch (f), der innen ein Sieb von 0,8 mm lichter Maschenweite enthält. Dieser Flansch dient zur Aufnahme des Staubrohres; das Sieb soll nach Angabe von Godbert und Greenwald eine bessere Staubverteilung im Ofen bewirken. Die Aufhängung des Heizofens bewirken vier Drähte, die unten durch Weißblechösen am Ofenmantel befestigt und oben mit einer Halte- bezw. Führungsschiene (h) fest verbunden sind. Letztere, die das folgende Bild wiedergibt, ist verschiebbar und hängt vermittels zweier Laufrollen auf einem horizontal verlagerten Rundeisenstab.



Abweichend hiervon hatten Godbert und Greenwald ihren Ofen auf einem Dreifuß fest aufgestellt. Zur Bedienung des Staubrohres ist aber erstere Versuchsanordnung praktischer, weil sie durch die größere Beweglichkeit des Ofens ein leichteres Oeffnen bezw. Schließen des Glasschliffes ermöglicht. Das Staubrohr

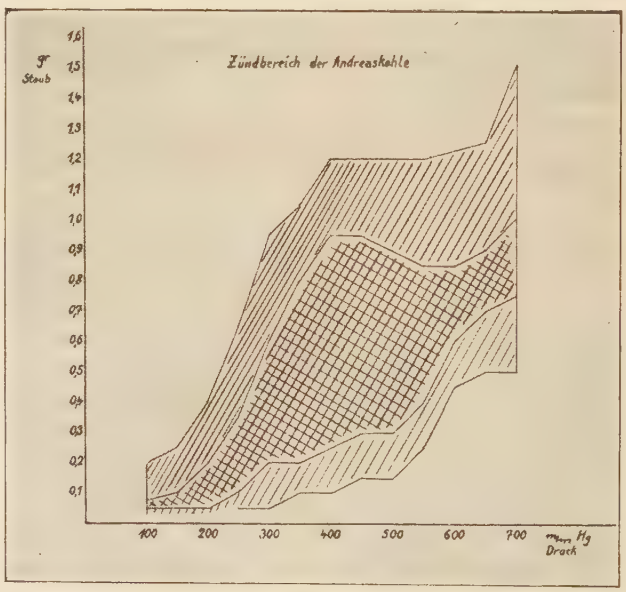
(R), ein ca. 25 cm langes Glasrohr, läuft an einem Ende in den Außenkonus eines Normalschliffes aus und geht, nach einer Biegung um 90°, am anderen Ende in ein glockenförmig erweitertes, in den Flansch des Ofens hineinpassendes und auf dem Innensiebe aufsitzendes Rohr über. In dieses Staubrohr kann mit Hilfe eines Drahtes ein vernickeltes und poliertes Schiffchen (c) von 89 mm Länge soweit hineingeschoben werden, bis es in der Krümmung anstößt und dadurch nach jeder Einführung zwangsläufig in dieselbe Lage kommt. Dieses Schiffchen dient zur Staubaufnahme und faßt maximal ca. 1,5 gr Staub. Der Luftbehälter — ein zylindrisches Gefäß — hat entsprechend den Angaben von Godbert und Greenwald einen Inhalt von 550 ccm. Er besitzt zwei Rohranschlüsse, von denen der eine zum Manometer führt und der andere in einem Rohr-T-Stück endigt. An letzterem ist auf der einen Seite mit einem kurzen Druckschlauch eine Preßluftflasche angeschlossen, aus der durch ein Nadelventil der Luftbehälter gefüllt werden kann, während sich an dem anderen Ende das Einlaßventil befindet, das seinen Fortsatz in dem zweiten, mit dem Innenkonus des Normalschliffes versehenen Anschlußpunkt des Staubrohres hat. Hierbei wurde nicht die von Godbert und Greenwald gebrauchte federnde Gummischlauchklemme, die etwas reichlich primitiv erscheint, als Einlaßventil verwandt, sondern ein Gashahn, der durch eine gespannte Feder vermittels eines Auslösestiftes außerordentlich rasch und gleichmäßig betätigt werden kann. In den Heizstromkreis für den Widerstandsofen sind schließlich ein regelbarer Schiebewiderstand und ein Amperemeter eingeschaltet, um den Heizstrom (125 Volt Wechselstrom) regeln und überwachen zu können.

Bei ihren Messungen der Entzündlichkeit von Stauben hielten Godbert und Greenwald folgende Versuchsbedingungen inne:

1. Temperatur des Ofens 720° C,
2. Kapazität des Luftstoßes 550 ccm Volumen bei 420 mm Hg Ueberdruck,
3. Staubmenge im Schiffchen 1,0 bis 1,5 gr.

Von diesen Versuchsbedingungen wurde Punkt 1 ohne Nachprüfung übernommen, da nach Godbert und Greenwald bei dieser Temperatur die beste Uebereinstimmung zwischen den Versuchen in der Versuchsgrube und denen nach der Laboratoriumsmethode bestand. Die Wahl einer anderen Temperatur hätte übrigens auch eine Vergleichsmöglichkeit der amerikanischen Versuche mit den vorliegenden ausgeschlossen. Das Gleiche gilt für Punkt 3, da die Entzündlichkeit anscheinend mit zunehmender Staubmenge ansteigt und nach Angaben von Godbert und Greenwald im Bereich von 1,0 bis 1,5 gr Staub annähernd konstant bleibt. Was Punkt 2 betrifft, so wurde durch Messungen der Zündbereich — untere und obere Explosionsgrenze — eines Kohlenstaubes mit steigendem Druck bestimmt, um den optimalen Druck mit dem weitesten Zündbereich zu finden. Zu diesem Zwecke wurde eine fein gemahlene Kohle (Andreasflöz 100% Durchgang durch Sieb Nr. 80) in verschiedenen Mengen von 0,1 gr an steigend um 0,1 gr im Zündofen geprüft und dabei festgestellt, wann Zündung eintrat oder nicht.

Da von jeder Staubmenge drei Versuche gemacht wurden, war es möglich, die Zündgrenzen ziemlich genau festzulegen. Die Durchführung dieser Versuche erfolgte bei verschiedenen Drucken. Die Versuchsergebnisse sind in folgender Abbildung graphisch dargestellt. Die doppelt schraffierte Fläche zeigt dabei das Gebiet der sicheren, die einfach schraffierte das der unsicheren Zündungen und die unschraffierte den Bereich, wo keine Zündungen mehr beobachtet wurden.



Der weiteste Zündbereich liegt demnach bei 400 mm Hg Ueberdruck. Da aber von dieser Druckhöhe abwärts bereits ein starker Abfall der Explosionsgrenzen und eine Verengung des Zündbereiches eintritt, ist es angebracht, den Versuchsdruck etwas höher zu wählen. Der von Godbert und Greenwald angegebene

Ueberdruck von 420 mm Hg ist nach dieser Versuchsreihe nicht nur berechtigt, sondern sogar besonders günstig gewählt. Es lag deshalb auch bei Punkt 2 keine Veranlassung vor, von den amerikanischen Daten abzuweichen.

Die Bestimmung der Entzündlichkeit eines Kohlenstaubes geschah nunmehr folgendermaßen:

Der Ofen wurde auf die Versuchstemperatur von 720° C angeheizt und so einreguliert, daß er diese Temperatur, nur in engen Grenzen schwankend, auch innehielt. Alsdann wurde eine bestimmte Menge des zu prüfenden Staubes in gleichmäßiger Verteilung in dem Schiffchen eingewogen und letzteres in das Staubrohr eingeführt. Nachdem der Luftbehälter aus der Preßluftflasche auf einen Ueberdruck von 420 mm Hg gebracht war, wurde durch Betätigung des Einlaßventils der Luftstoß ausgelöst und der Staub durch den Ofen geblasen. Gleichzeitig beobachtete man den Austritt der Staubwolke aus dem Ofen. Erfolgte er mit einer Flammenbildung, so galt der Staub als entzündlich, anderenfalls als nicht entzündlich. Von jedem Versuchsstaub wurden hierbei je zwei Versuche mit 1,0, 1,2 und 1,4 gr durchgeführt. Indem man verschiedene Gesteinstaubmengen einem Kohlenstaub zugab, wurden schließlich zwei Kohlengesteinstaubmischungen gefunden, die sich in ihrem Gehalt an Gesteinstaub nur um 2,5% unterschieden, und von denen die eine in keinem Falle eine Zündung ergab, während bei der anderen in einigen Fällen Zündungen beobachtet wurden. War bei der einen, einige Zündungen ergebenden Staubmischung, der Gehalt an Gesteinstaub B, so betrug er demnach in der Mischung, die keine Zündungen hatte, B + 2,5. Godbert und Greenwald begnügten sich damit, als Intrapolation zwischen beiden Werten das arithmetische Mittel, also B + 1,25, zu nehmen. Auf Grund zahlreicher Versuche erwies es sich jedoch als vorteilhaft, die Intrapolation etwas genauer durchzuführen und zwar folgendermaßen: Ist die Zahl der bei der Mischung B beobachteten Zündungen N, so ist der intrapolierte Wert Bi

1. Intrapolationsformel $Bi = B + 0{,}5 \cdot (N - 1)$ und der absolute Gehalt an Unverbrennbarem in der Grenzmischung S ist dann, wenn A der Aschegehalt und F die Feuchtigkeit des Kohlenstaubes ist,

2. Berechnungsformel für S

$$S = Bi + \frac{100 - Bi}{100} \cdot (A + F).$$

Die Intrapolationsformel ergibt für N = 1, B = Bi, d. h., wird bei sechs Versuchen bei einer Mischung nur eine Zündung beobachtet, so ist diese Mischung gleichzeitig die intrapolierte Grenzmischung. Ebenso besagt sie für N = 6, daß die nächsthöhere Mischung als Grenzmischung gilt. Das erscheint auf den ersten Blick erstaunlich, ist aber in der Genauigkeit der Methode begründet. Wenn nämlich bei einer Mischung nur eine Zündung auftrat, so ist diese eine Zündung allein ein zu unsicherer Faktor, als daß es berechtigt erscheint, den Wert noch durch Intrapolation zu erhöhen. Andererseits ist bei sechs Zündungen in der einen Mischung anzunehmen, daß praktisch die nächsthöhere Mischung als Grenzwert zu betrachten ist. Letzterer Fall ist übrigens nie beobachtet worden; die höchste erreichte Zahl an Zündungen ist fünf gewesen.

III. Die Bestimmung der Oberfläche von Stauben.

Da alle Reaktionen zwischen festen Körpern und Gasen Oberflächenreaktionen sind, ist es für die Beurteilung der Entzündlichkeit eines Kohlenstaubes von weittragender Bedeutung, über die Größe der Oberfläche eines Staubes irgendeinen zahlenmäßigen Wert zu erhalten. Dieses Problem ist eines der schwierigsten, weil die absolute Fläche eines Staubes von einer Reihe sehr schwer zu erfassender Faktoren abhängig ist. Man ist stets gezwungen, von idealisierenden Voraussetzungen auszugehen, die einerseits der Wirklichkeit nicht entsprechen, andererseits aber notwendig sind, um überhaupt eine Grundlage für die Klärung dieser Frage zu erhalten. Jedes vermahlene Gut — also auch der Kohlenstaub — ist polydispers, d. h. er besteht aus einer Vielheit von Korngrößen. Gleichzeitig ist aber auch jeder Staub polymorph. In jedem Mahlgut ist danach eine vielgestaltige Fülle von Kornformen enthalten. Somit ist es auch unmöglich, beim Staube von einer absoluten Korngröße zu sprechen, weil ja jedes Korn nicht einen, sondern mehrere sich voneinander unterscheidende Korndurchmesser haben kann und dabei durch die Verschiedenheit der Kornformen schließlich jedes Staubteilchen seine vielleicht nur ihm eigenen Maße hat, die für sich gesondert beurteilt und gemessen werden müssen. Es ist selbstverständlich, daß diese Sonderbehandlung sowohl technisch als auch experimentell nicht durchführbar ist, schon aus zeitlichen Gründen. Will man aber trotzdem den Weg zur Oberflächenmessung eines Staubes nicht aufgeben, so ist man schon bei der Definition der Korngröße eines Staubteilchens zu idealisierenden Annahmen gezwungen. Hierbei betrachtet man als Korngröße eines Staubteilchens die Kantenlänge eines Würfels, der das gleiche Volumen wie das Staubteilchen selbst hat. Da, wie bereits erwähnt, ein Staub eine Vielheit von Korngrößen darstellt, besteht das erste Ziel der Erforschung eines Mahlgutes darin, dieses polydisperse System in eine Reihe von Systemen aufzuteilen, in denen diese Verschiedenheit der Korngrößen begrenzt ist, d. h. den polydispersen Staub in eine Anzahl isodisperser Fraktionen überzuführen. Der Idealfall, die Staubteilchen nur einer Korngröße zu isolieren, also eine echte monodisperse Fraktion zu erhalten, ist unerreichbar. Man kann ihm, wie Gründer[15]) bei Roggen- und Weizenmehl nachwies, bis auf einen Korngrößenbereich von 5 μ nahekommen.

Für die Aufbereitung eines Mahlgutes stehen vier Methoden zur Verfügung:

1. Sieben,
2. Windsichten,
3. Schlämmen,
4. Sedimentieren.

Dabei wird man für die experimentelle Erforschung eines Staubes bei grobem und mittlerem Korn — größer als 60 μ — normalerweise das Sieben und bei feinem Staub — unter 60 μ — die Windsichtung oder die Sedimentanalyse anwenden. Stellt man die Einzelergebnisse einer Siebanalyse graphisch dar, so erhält man die Feinheitskennlinie des Staubes. Dabei können entweder die Rückstands- oder Durchgangszahlen als Werte benutzt werden, die dementsprechend die Rückstands- bezw. Durchgangskennlinie ergeben. Beide Kurven sind spiegelgleich und müssen sich in der Höhe der Ordinate 50% schneiden. Durch graphische Differentiation der Durchgangskennlinie erhält man schließlich die Kornverteilungskurve. Dieselbe gibt demnach den prozentualen Anteil der einzelnen Korngrößen wieder und ist für die Bestimmung der Oberfläche eines Staubes von grundlegender Bedeutung. Rosin, Rammler und Sperling[16]) wiesen nach, daß die Beurteilung des Feinheitsgrades eines Staubes, lediglich nach den prozentualen Durchgängen durch eine Reihe von Sieben, unzureichend ist und daß die Feinheit eines Staubes vielmehr durch

[15]) W. Gründer: „Feinheitskennlinien von Roggen- und Weizenmehlen". Die Mühle, B. 14 (1932), Heft 49.

[16]) Rosin, Rammler und Sperling: „Korngrößenprobleme des Kohlenstaubes und ihre Bedeutung für die Vermahlung". Berichte des Reichskohlenrates, Bericht C 52, 1933.

seine Oberflächenentwicklung zu messen sei. Da aber der Bestimmung der absoluten Oberfläche vorläufig unüberwindbare Schwierigkeiten entgegenstehen, erscheint die spezifische Oberfläche als einzig möglicher Ausgangspunkt und auch nur dann, wenn man den „Würfelstaub" als idealisierende Form zu Hilfe nimmt, und die Tatsache, daß die Staubteilchen keine glatten, sondern rauhe, mit Sprüngen und Rissen durchsetzte Oberflächen besitzen, außer acht läßt. Aber auch dann noch stellt sich als Hindernis der Umstand in den Weg, daß Staub polymorph ist und seine Oberflächenentwicklung demnach nicht nur von den Korngrößen, sondern auch von der wechselnden Gestalt der Teilchen wesentlich abhängt.[17]) Rosin, Rammler und Sperling haben dieser Erkenntnis dadurch Rechnung getragen, daß sie den Begriff des Oberflächenfaktors einführten. Derselbe ist eine Verhältniszahl und stellt den Quotienten, Oberfläche einer bestimmten Kornform durch Oberfläche eines Würfels gleichen Volumens, dar. Jede Kornform hat demnach ihren spezifischen Oberflächenfaktor, und von Gonell[18]) ist eine Reihe von Oberflächenfaktoren für einfache mathematische Formen — quadratische Prismen — berechnet worden. Aber was bedeuten schließlich einige Oberflächenfaktoren gegenüber der Unzahl von tatsächlich vorhandenen Formen! Man wäre gezwungen, jedem Staub eine Formkonstante zu geben, die sich aus einer großen Zahl von Oberflächenfaktoren zusammensetzt. Für die Bestimmung dieser Formkonstanten wären aber wiederum außerordentlich umfangreiche mikroskopische Bestimmungen der Formen und sehr langwierige Berechnungen erforderlich, um überhaupt nach dem Gauß'schen Fehlergesetz zu einem tragbaren Mittelwert der Formkonstanten zu gelangen. Godbert und Greenwald haben deshalb bei ihrer Arbeit bewußt auf die Bestimmung der spezifischen Oberfläche verzichtet und an deren Stelle als Maßstab des Feinheitsgrades von Stauben die relative spezifische Oberfläche eingeführt. Für die Berechnung der letzteren wurden in vorliegender Arbeit bei Kohlenstauben folgende Annahmen vorausgesetzt:

1. als mittlere Korngröße der einzelnen Siebfraktionen wird das arithmetische Mittel der lichten Maschenweiten der Grenzsiebe genommen,
2. innerhalb der Siebfraktionen wird die Zahl und der Anteil der Kornformen als konstant angesehen. Andreasen[19]) kommt übrigens bei seinen Untersuchungen an verschiedenen Mahlgütern zu dem Schluß, daß nichts darauf hindeute, daß die Kornform mit der Korngröße variiere.
3. eine bestimmte Siebfraktion mit engem Korngrößenbereich wird als Normalfraktion zur Messbasis gemacht und deren mittlerer Korndurchmesser gleich 1 gesetzt. Die Korndurchmesser der anderen Siebfraktionen gehen dementsprechend in einfache Verhältniszahlen zum Normalkorndurchmesser über.
4. da bei den vorliegenden Versuchen das spezifische Gewicht der Kohlen nur in engen Grenzen schwankt, wird es bei der Berechnung nicht berücksichtigt, sondern in die Universalkonstante mit einbezogen.

Korngröße eines isomorphen Staubes und Oberfläche desselben sind nun durch folgende mathematische Beziehung miteinander verknüpft. Bei konstantem Volumen bezw. konstanter Menge des Staubes ist für jede Kornform das Produkt aus der Oberfläche O und dem Korndurchmesser D eine Konstante, also

$$O \cdot D = K.$$

Die zahlenmäßige Größe dieser Konstanten ist dabei spezifisch und hat z. B. für nachstehende Kornformen, wenn man das konstante Volumen gleich 1 (1 ccm) setzt, folgende Werte:

Kugel		6
Würfel		6
Quadratisches Prisma Kantenverhältnis 1 : 5	Stäbchenform	7,6
Quadratisches Prisma Kantenverhältnis 1 : 10	Stäbchenform	9,1
Quadratisches Prisma Kantenverhältnis 5 : 1	Blättchenform	8,2
Quadratisches Prisma Kantenverhältnis 10 : 1	Blättchenform	11,1

Der Quotient einer dieser Konstanten durch die Konstante des Würfels bezw. der Kugel

[17]) W. Gross und W. Gründer: „Kornfeinheitsbestimmungen durch die Sedimentanalyse am Beispiel von Steinkohlenstaub". Glückauf, 1933, Heft 22, S. 485—490.

[18]) H. W. Gonell: „Formenkunde des Industriestaubes mit besonderer Berücksichtigung des Kohlenstaubes". Z. d. VDI., 1930, Nr. 26, S. 917.

[19]) A. H. M. Andreasen: „Zur Kenntnis des Mahlgutes". Kolloidchemische Beihefte, Bd. XXVII, Heft 6 bis 12 (1928), S. 426.

würde also den Oberflächenfaktor der betreffenden Kornform ergeben; ferner ist es interessant, festzustellen, daß es für die Berechnung der spezifischen Oberfläche gleichgültig ist, ob von „Würfelstaub“ oder ‚Kugelstaub“ als idealisierenden Annahme ausgegangen wird.*) Wenn jetzt für die Oberfläche der Normalfraktion ein Standardwert angenommen wird, im vorliegendem Falle 100 — diese Zahl ist für die Berechnung am praktischsten — so ist durch obige mathematische Funktion eine Brücke zwischen Oberfläche und Korndurchmesser geschlagen, die eine Berechnung der relativen spezifischen Oberfläche zuläßt. Sei der mittlere Korndurchmesser irgendeiner Siebfraktion D_s und ihre Oberfläche O_s und die dementsprechenden Werte der Normalfraktion D_n bezw. O_n, so ist:

$$O_s \cdot D_s = K \text{ und ebenso}$$

$$O_n \cdot D_n = K. \text{ Daraus ergibt sich, daß}$$

$$O_s \cdot D_s = O_n \cdot D_n \text{ oder}$$

$$O_s = \frac{D_n}{D_s} \cdot O_n \text{ ist.}$$

Dabei sind die auf der rechten Seite der Gleichung stehenden Faktoren sämtlich bekannte Werte. $\frac{D_n}{D_s}$ ist die schon erwähnte Verhältniszahl der Korndurchmesser und O_n ist der Standardwert für die Oberfläche der Normalfraktion. Die aus der Siebanalyse und für feinen Staub aus der Windsichtung erhaltenen Prozentzahlen der einzelnen Fraktionen, die annähernd Werte der Kornverteilungskurve sind, lassen sich somit in die entsprechenden relativen spezifischen Oberflächen umrechnen und unter Berücksichtigung ihrer prozentualen Anteile durch Summation in die relative spezifische Gesamtoberfläche eines Staubes überführen. Sind p_1, p_2, p_3 usw. die Prozente der Siebfraktionen 1, 2, 3 usw. und v_1, v_2, v_3 usw. die Verhältniszahlen der Korndurchmesser, so ist die relative spezifische Gesamtoberfläche oder auch Feinheitskennziffer des Staubes

$$F = p_1 v_1 + p_2 v_2 + p_3 v_3 \text{ usw.}$$

*) Vom Gesichtspunkte der Siebanalyse aus betrachtet, erscheint zweifelsohne Kugelstaub wegen seiner erheblich größeren Durchfallmöglichkeit als theoretische Basis richtiger. Der Würfelstaub dagegen ist für die Oberflächenberechnung praktischer, weil die Beziehung zwischen Durchmesser und Oberfläche außerordentlich einfach ist. Da es aber, wie oben gesagt, für die Endberechnung gleichgültig ist, ob man von Würfel- oder Kugelstaub ausgeht, wurde in vorliegender Arbeit aus Gründen der erleichterten Berechnung Würfelstaub zugrunde gelegt.

Diese Feinheitskennziffer besagt also bezüglich der Oberfläche eines Staubes rein quantitativ nichts aus, sondern ist lediglich eine echte Verhältniszahl, die einen relativen Vergleich von verschiedenen Stauben bezüglich ihrer Oberflächenentwicklung untereinander zuläßt.**)

Um die Feinheitskennziffern von Stauben berechnen zu können, war es erforderlich, eine Aufbereitung der Staube vorzunehmen, die für sämtliche untersuchten Kohlen einheitlich durchgeführt wurde. Von den vorhandenen Methoden gelangten zwei zur Anwendung, und zwar die Siebanalyse durch genormte deutsche Siebe, und für Korngrößen unter 60 μ die Windsichtung von Gonell[20]).***)

Es würde zu weit führen, die Fehlerquellen dieser beiden Methoden ausführlich zu erörtern. Sie sind in der einschlägigen Literatur eingehend beschrieben und können hier nur kurz gestreift werden. Es ist einleuchtend, daß durch den Abrieb beim Sieben eine von der Zerreiblichkeit des Materials und der Form der angewandten Siebe abhängige teilweise Veränderung sowohl der Korngröße als auch der Kornform eintritt, und daß auch bei der Windsichtung nach Gonell eine nicht nur von der Korngröße, sondern auch vom spezifischen Gewicht abhängende Aufteilung des Mahlgutes erfolgt. Aber man ist gezwungen, diese Fehler

**) Es ist bedauerlich, daß auf die beiden vorhandenen Methoden, nämlich der direkten Bestimmung der spezifischen Oberfläche nach Witte (Grautonmesser — siehe Sonderdruck „Schlägel und Eisen“, Teplitz-Schönau, 1936: „Korngröße und Zündfähigkeit von Steinkohlenstaub“) und der indirekten Berechnung aus den Körnungskennlinien, in vorliegender Arbeit nicht näher eingegangen werden konnte. Durch die zum Vergleich herangezogene Arbeit von Godbert und Greenwald war jedoch der vorgezeichnete Weg bezüglich der Bestimmung der relativen spezifischen Oberfläche so weitgehend festgelegt, daß ohne Gefährdung der Zielsetzung eine Abweichung davon durch eine Berücksichtigung der einen oder anderen der vorerwähnten beiden Methoden nicht möglich war.

[20]) H. W. Gonell: „Ein Windsichtverfahren zur Bestimmung der Kornzusammensetzung staubförmiger Stoffe“. Z. d. VDI., 1928, Nr. 27. — „Die Bestimmung der Kornzusammensetzung staubförmiger Stoffe, insbesondere von Zement“. Zement, 1928, Nr. 50 bis 52.

***) Obgleich die Sedimentanalyse im flüssigen Mittel[17]) für letztere Korngrößen an sich wohl genauer sein dürfte, wurde trotzdem das Gonell'sche Verfahren gewählt, weil dieses im Gegensatz zum ersteren eine Weiterverwendung der gewonnenen Staube zuläßt, die sich im Verlaufe der Untersuchungen dieser Arbeit u. U. als zweckmäßig oder notwendig hätte erweisen können.

mit in Kauf zu nehmen, da der Aufbereitungstechnik von Stauben augenblicklich keine besseren Methoden zur Verfügung stehen und auch durch Berechnung diese Fehler nicht ausgemerzt werden können.

Das Vermahlen der Versuchskohlen erfolgte in einer Walzenmühle, bis das gesamte Mahlgut durch das deutsche DIN-Sieb Nr. 10 hindurchging. Die lichte Maschenweite dieses Siebes beträgt 600 μ und kann für vorliegende Untersuchungen als obere Grenze dessen angesehen werden, was noch als Staub bezeichnet wird. Das gesamte Mahlgut wurde daraufhin durch Absieben mit dem DIN-Sieb Nr. 80 (75 μ lichte Maschenweite) in zwei Hauptfraktionen zerlegt, wobei der Rückstand als grober Staub und der Durchgang als feiner Staub angesehen wurde. Von diesen beiden Hauptfraktionen erfolgte die Bestimmung der Feinheitskennziffer vermittels Siebanalyse und Windsichtung nach folgendem Schema; dabei sind die einzelnen Siebfraktionen durch Zahlen und die Fraktionen der Windsichtung nach Gonell durch Buchstaben bezeichnet.

Tab. 1. Kennzeichnung der Staubfraktionen.

Siebanalyse

Bezeichnung der Fraktion	Nummer der DIN-Siebe	Lichte Maschenweite in μ	Mittlerer Korndurchmesser in μ	Verhältniszahl der Korndurchmesser	Prozentualer Anteil der Siebfraktionen
I	10— 12	600—490 μ	545 μ	0,162	p_1
II	12— 14	490—430 μ	460 μ	0,192	p_2
III	14— 20	430—300 μ	365 μ	0,243	p_3
IV	20— 30	300—200 μ	250 μ	0,354	p_4
V	30— 40	200—150 μ	175 μ	0,506	p_5
VI	40— 60	150—102 μ	126 μ	0,702	p_6
VII	60— 80	102— 75 μ	88,5 μ	1	p_7
VIII	80—100	75— 60 μ	67,5 μ	1,31	p_8

Windsichtung

Bezeichnung der Fraktion	Korngrößenbereich der Windsichtungsfraktionen in μ	Mittlerer Korndurchmesser in μ	Verhältniszahl der Korndurchmesser	Prozentualer Anteil der Fraktionen
a	60—40 μ	50 μ	1,77	p_a
b	40—35 μ	37,5 μ	2,36	p_b
c	35—30 μ	32,5 μ	2,72	p_c
d	30—25 μ	27,5 μ	3,22	p_d
e	25—20 μ	22,5 μ	3,94	p_e
f	20—15 μ	17,5 μ	5,06	p_f
g	15—10 μ	12,5 μ	7,08	p_g
h	10— 0 μ	4 μ	22,16	p_h

Die Berechnungsformel der Feinheitskennziffer für groben Staub ist demnach

$$F = 0{,}162\ p_1 + 0{,}192\ p_2 + 0{,}243\ p_3 + 0{,}354\ p_4 + 0{,}506\ p_5 + 0{,}702\ p_6 + p_7$$

und für feinen Staub dementsprechend

$$F = 1{,}31\ p_8 + 1{,}77\ p_a + 2{,}36\ p_b + 2{,}72\ p_c + 3{,}22\ p_d + 3{,}94\ p_e + 5{,}06\ p_f + 7{,}08\ p_g + 22{,}16\ p_h$$

Wie aus dem Schema ferner zu ersehen ist, ist die Fraktion VII mit der mittleren Korngröße von 88,5 μ als Normalfraktion genommen worden. Dies ist in engster Anlehnung an die Arbeit von Godbert und Greenwald erfolgt, die für ihre Normalfraktion (Tyler-Siebe Nr. 150 und 200) eine mittlere Korngröße von 89 μ angeben. Dadurch sind die Feinheitskennziffern dieser Arbeit direkt mit denen der amerikanischen Arbeit vergleichbar, auch wenn die Abgrenzungen der einzelnen Siebfraktionen untereinander nicht ganz übereinstimmen, was darauf zurückzuführen ist, daß Godbert und Greenwald für ihre Staubaufbereitung Tyler-Siebe benutzten, während bei vorliegender Arbeit die deutschen DIN-Siebe zur Anwendung gelangten. Eine Abweichung ist ferner bei der Abgrenzung nach dem groben Korn zu getroffen. Godbert und Greenwald gelangen bei ihrer Fraktion I bis zu einem mittleren Korndurchmesser von 712 μ, während bei dieser Arbeit die Abgrenzung bereits bei 545 μ erfolgt. Ein Teilchen mit der Korngröße von 712 μ kann wegen seiner sehr geringen Flugfähigkeit kaum noch als Staub bezeichnet werden, auch 545 μ ist sicher noch zu hoch gegriffen. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch zwischen beiden Arbeiten bezüglich der Bestimmung der Feinheitskennziffern von feinen Stauben. Godbert und Greenwald haben sich auf Grund einiger Schlämmanalysen damit begnügt, für die feinen Staube ihrer Versuchskohlen summarisch einen mittleren Korndurchmesser von 20 μ und damit eine einheitliche Feinheitskennziffer von 445 anzunehmen.

Es kann hier nicht beurteilt werden, ob diese Vereinfachung nicht zu optimistisch ist, möglicherweise reicht sie aus, da nur 4 Versuchskohlen als Grundlage der mathematischen Auswertung vorliegen. Diese Arbeit umfaßt jedoch 11 Versuchskohlen, und damit ist der Rahmen der Untersuchungen zu weit abgesteckt, als daß man noch die von Godbert und Greenwald vor-

Tab. 2. Feinheitskennziffern der untersuchten Staube.

Bezeichnung der Kohle bezw. des Gesteinstaubes	Feinheitskennziffer des groben Staubes	Feinheitskennziffer des feinen Staubes	Quotient der Feinheitskennziffern
Andreas-Flöz Königin Luisegrube Hindenburg O/S.	40	530	13,24
Pochhammerflöz Castellengogrube Borsigwerk O/S.	49	527	10,75
Schuckmann-Niederbank Castellengogrube Borsigwerk O/S.	42	510	12,14
Kennelkohle Castellengogrube Borsigwerk O/S.	44	598	13,59
Flöz 4 der Zeche Gneisenau Dortmund-Derne	46	470	10,22
S. I./II. der Zeche Minister Achenbach Lünen Kreis Dortmund	51	551	10,81
Zeche Graf Bismarck Gelsenkirchen	39	436	11,2
8. Flöz Südfeld d. Rudolfgrube Volpersdorf Kreis Neurode	49	471	9,63
9. Flöz der Fuchsgrube Neu-Weißstein in Schlesien	44	467	10,61
Braunkohle der Braunkohlengrube in Löderburg Kreis Staßfurt	45	634	14,1
Pechkohle der Zeche Hausham in Oberbayern	40	410	10,25
Marmorstaub I	54	321	5,94
Marmorstaub II	63	351	5,57

geschlagene summarische Beurteilung der feinen Staube rechtfertigen könnte. Tatsächlich haben auch die in nebenstehender Tabelle 2 angeführten Feinheitskennziffern der deutschen Versuchskohlen diese Befürchtung bestätigt. Es sind gegenüber der amerikanischen Feinheitskennziffer von 445 erhebliche Abweichungen vorhanden. Die zur Berechnung erforderlichen Siebanalysen bezw. Windsichtungen sind im Anhang angegeben.

Die Feinheitskennziffern der feinen Staube liegen bis auf eine Kohle (Zeche Graf Bismarck) durchweg über 445, während die der groben Staube von der Größenordnung der betreffenden amerikanischen Feinheitskennziffern sind. Es ist dabei interessant, daß das Verhältnis beider Feinheitskennziffern in 7 von 11 Fällen sich zwischen 10 und 11 bewegt und in allen Fällen nicht höher als 14 ist. Man kann also bereits aus der Größe der Feinheitskennziffer des groben Staubes gewisse Schlüsse auf die ungefähre Größe der Feinheitskennziffer des feinen Staubes ziehen; ob sich allerdings dieses Verhältnis auch auf natürliche Grubenstaube erstreckt, müßte erst durch Untersuchungen festgestellt werden.

IVa. Der Einfluss der Feinheit von Kohlen- und Gesteinstauben auf die Entzündlichkeit von Kohlenstauben.

Die Entzündlichkeit eines Kohlengesteinstaubgemisches hängt bezüglich seiner Oberflächenentwicklung von zwei Komponenten ab. Mit zunehmender Oberfläche des Kohlenstaubes nimmt auch die Entzündlichkeit des Staubgemisches zu, dagegen verringert sich seine Entzündlichkeit, wenn die Oberfläche des Gesteinstaubes zunimmt. Beide Effekte bewegen sich demnach in entgegengesetzter Richtung, sind aber, wie Godbert und Greenwald nachwiesen, weder ihrer Größe noch ihrer Struktur nach gleich. Der Zusammenhang zwischen Oberfläche des Kohlenstaubes und seiner Entzündlichkeit ist eine einfache lineare Funktion, während Entzündlichkeit und Oberfläche des Gesteinstaubes durch eine Exponentialfunktion miteinander verknüpft sind. Um jede der beiden Komponenten für sich klar herauszustellen, muß man demnach beide Variablen getrennt prüfen und zwar so, daß zunächst bei konstanter Feinheitskennziffer des Gesteinstaubes und variabler Feinheitskennziffer des Kohlenstaubes die Beziehung zwischen Entzündlichkeit und Oberflächenentwicklung des Kohlenstaubes festgestellt und dann in umgekehrter Reihenfolge der Zusammenhang zwischen Entzündlichkeit und Feinheitskennziffer des Gesteinstaubes geprüft wird. Dieser Umstand bedingt ein ziemlich umfangreiches Versuchsprogramm, das von Godbert und Greenwald in folgender Weise in Angriff genommen wurde.

Sie stellten von den Hauptfraktionen ihrer Staube, und zwar sowohl der Kohlen- als auch der Gesteinstaube, eine Reihe von Mischungen her mit verschiedenem Gehalt an feinem Staub und bestimmten die Entzündlichkeit jeder Kohlenstaubmischung mit sämtlichen Gesteinstaubmischungen. Da sie insgesamt 7 Kohlenmischungen und 7 Gesteinstaubmischungen anwandten, gelangten sie bei jeder Kohle zu 49 Entzündlichkeitsversuchen. Dieses Verfahren wurde in vorliegender Arbeit übernommen und an 11 verschiedenen Kohlen der deutschen Kohlenreviere durchgeführt. In den folgenden 11 Zahlentafeln sind die Versuchsergebnisse zusammengestellt. Diese tabellenmäßige Darstellung hat den Vorteil, daß man beide Effekte für sich prüfen kann, und zwar insofern, als die senkrechten Reihen der Entzündlichkeiten die Abhängigkeit der Entzündlichkeit von der Oberfläche des Kohlenstaubes, und die waagerechten Reihen den Einfluß der Oberfläche des Gesteinstaubes wiedergeben.

Tab. 3. Entzündlichkeit der Kohlenstaub - Gesteinstaubgemische verschiedener Feinheit, ausgedrückt in Prozenten Unbrennbares des Grenzgemisches, bei dem Zündung gerade verhütet ist.

fc = Feinheitskennziffer des Kohlenstaubes
fi = Feinheitskennziffer des Gesteinstaubes
a = Prozentgehalt des Kohlen- bezw. Gesteinstaubes an Feinstem unter 75 μ ⌀.

1. Andreas-Flöz der Königin-Luise-Grube.

Kohlenstaub		Gesteinstaub						
		fi 54	81	108	134	161	241	321
fc	a	a 0	10	20	30	40	70	100
40	0	77%				71%	61%	54%
89	10	79%	76%	74%	71%	66%	61%	55%
138	20	83%	81%	79%	74%	72%	65%	61%
187	30	83%	82%	81%	79%	77%	72%	70%
236	40	88%	86%	85%	84%	82%	77%	73%
383	70	92%	91%	90%	89%	87%	84%	81%
530	100	95%	94%	93%	92%	91%	89%	87%

Tab. 4. Entzündlichkeit (wie in Tab. 3).

2. Pochhammerflöz der Castellengogrube.

Kohlenstaub		Gesteinstaub						
		fi 54	81	108	134	161	241	321
fc	a	a 0	10	20	30	40	70	100
49	0	64%				44%	43%	38%
97	10	69%	70%	65%	62%	58%	53%	46%
144	20	75%	74%	72%	72%	70%	65%	55%
192	30	79%	75%	74%	72%	70%	63%	56%
240	40	82%	80%	77%	75%	73%	68%	63%
374	70	88%	87%	87%	85%	83%	80%	75%
527	100	92%	91%	91%	90%	86%	83%	80%

Tab. 5. Entzündlichkeit (wie in Tab. 3).

3. Schuckmann-Niederbank-Flöz der Castellengogrube.

Kohlenstaub		Gesteinstaub						
		fi 54	81	108	134	161	241	321
fc	a	a 0	10	20	30	40	70	100
42	0	45%				33%	30%	24%
89	10	51%	49%	48%	38%	38%	35%	31%
136	20	60%	59%	59%	56%	50%	43%	40%
182	30	63%	60%	59%	55%	53%	50%	48%
229	40	73%	73%	73%	73%	70%	66%	57%
370	70	83%	83%	82%	81%	79%	73%	71%
510	100	89%	88%	87%	85%	83%	82%	80%

Tab. 6. Entzündlichkeit (wie in Tab. 3)

4. Kennelkohle der Castellengogrube.

Kohlenstaub		Gesteinstaub						
		fi 54	81	108	134	161	241	321
fc	a	a 0	10	20	30	40	70	100
44	0	41%				29%	29%	26%
100	10	44%	42%	42%	40%	36%	35%	33%
155	20	63%	52%	50%	49%	48%	46%	46%
210	30	69%	64%	62%	61%	59%	54%	51%
266	40	74%	69%	65%	63%	61%	61%	58%
432	70	81%	80%	77%	75%	73%	71%	70%
598	100	88%	85%	83%	80%	80%	79%	76%

Tab. 7. Entzündlichkeit (wie in Tab. 3).

5. Zeche Gneisenau, Flöz 4.

Kohlenstaub		Gesteinstaub						
		fi 54	81	108	134	161	241	321
fc	a	a 0	10	20	30	40	70	100
46	0	66%				59%	51%	49%
88	10	66%	62%	56%	52%	47%	44%	42%
131	20	70%	67%	66%	65%	61%	52%	50%
173	30	82%	82%	78%	76%	73%	67%	57%
215	40	82%	81%	79%	76%	76%	69%	64%
343	70	88%	86%	85%	84%	81%	77%	72%
470	100	91%	90%	89%	87%	85%	82%	79%

Tab. 8. Entzündlichkeit (wie in Tab. 3).

6. Zeche Minister Achenbach S. I/II.

Kohlenstaub		Gesteinstaub						
		fi 63	92	121	149	178	265	351
fc	a	a 0	10	20	30	40	70	100
51	0	77%				67%	56%	51%
101	10	79%	76%	72%	67%	63%	60%	53%
151	20	79%	78%	74%	72%	70%	66%	60%
201	30	82%	80%	77%	75%	74%	70%	65%
251	40	86%	84%	83%	82%	79%	75%	68%
401	70	90%	89%	87%	86%	85%	82%	78%
551	100	92%	91%	90%	89%	87%	85%	82%

Tab. 9. Entzündlichkeit (wie in Tab. 3).

7. Zeche Graf Bismarck.

Kohlenstaub		Gesteinstaub						
		fi 54	81	108	134	161	241	321
fc	a	a 0	10	20	30	40	70	100
39	0	79%				73%	61%	54%
79	10	79%	74%	72%	69%	66%	57%	49%
118	20	81%	75%	70%	69%	67%	64%	61%
158	30	84%	82%	79%	76%	74%	71%	70%
198	40	84%	83%	81%	79%	79%	76%	74%
317	70	90%	87%	87%	86%	84%	83%	79%
436	100	92%	92%	89%	89%	88%	87%	84%

Tab. 10. Entzündlichkeit (wie in Tab. 3).

8. Rudolfgrube, 8. Flöz Südfeld.

Kohlenstaub		Gesteinstaub						
		fi 63	92	121	149	178	265	351
fc	a	a 0	10	20	30	40	70	100
49	0	50%				40%	38%	35%
91	10	65%	64%	62%	60%	58%	52%	50%
133	20	70%	69%	67%	65%	64%	63%	57%
176	30	77%	76%	74%	74%	69%	68%	62%
218	40	82%	81%	79%	77%	76%	72%	69%
344	70	89%	86%	85%	84%	82%	80%	79%
471	100	92%	91%	89%	88%	87%	86%	85%

Tab. 11. Entzündlichkeit (wie in Tab. 3).

9. Fuchsgrube, 9. Flöz.

Kohlenstaub		Gesteinstaub						
		fi 63	92	121	149	178	265	351
fc	a	a 0	10	20	30	40	70	100
44	0	52%				41%	36%	32%
86	10	60%	56%	55%	53%	51%	47%	39%
129	20	65%	63%	61%	59%	56%	53%	46%
171	30	72%	70%	69%	68%	63%	61%	51%
213	40	77%	75%	73%	72%	68%	66%	61%
340	70	85%	83%	82%	80%	80%	77%	73%
467	100	89%	87%	85%	85%	83%	82%	78%

Tab. 12. Entzündlichkeit (wie in Tab. 3).

10. Braunkohle.

Kohlenstaub		Gesteinstaub						
		fi 63	92	121	149	178	265	351
fc	a	a 0	10	20	30	40	70	100
45	0	93%				93%	92%	92%
104	10	92%	93%	93%	93%	93%	93%	93%
163	20	94%	94%	93%	93%	93%	92%	92%
222	30	94%	94%	94%	92%	92%	92%	92%
281	40	94%	92%	91%	90%	90%	88%	88%
457	70	96%	96%	95%	95%	90%	88%	86%
634	100	98%	97%	95%	95%	93%	91%	90%

Tab. 13. Entzündlichkeit (wie in Tab. 3).

11. Pechkohle.

Kohlenstaub		Gesteinstaub						
fi 63		92	121	149	178	265	351	
fc	a	a 0	10	20	30	40	70	100
40	0	69%				65%	64%	62%
77	10	73%	71%	71%	70%	68%	65%	64%
114	20	78%	76%	75%	75%	73%	70%	67%
151	30	84%	82%	81%	80%	79%	75%	73%
188	40	88%	86%	86%	86%	85%	81%	77%
299	70	94%	92%	92%	90%	89%	88%	86%
410	100	95%	95%	94%	93%	92%	91%	89%

Für sämtliche Entzündlichkeitsversuche wurde als inerter Staub Marmorstaub gewählt, weil gerade Marmor als verhältnismäßig einheitliche chemische Substanz in bezug auf Zerreiblichkeit, Härte und Dichte keinen Schwankungen unterworfen ist, wodurch irgendwelche Fehler weitgehend vermieden wurden. Da auch die Gruben wegen der gesundheitsschädlichen Einwirkungen von Silikatstauben für die Gesteinstaubstreuung in steigendem Maße Kalkstaub verwenden, ist die Benutzung von Marmorstaub für diese Laboratoriumsversuche auch in letzterer Hinsicht gerechtfertigt.

Die für die Berechnung der Entzündlichkeiten erforderlichen chemischen Daten, wie Asche- und Wassergehalt der Kohlenstaube, sind im Anhang wiedergegeben. Die chemische Analyse erstreckte sich auf die Bestimmung des Asche- und Wassergehaltes sowie des Gehaltes an flüchtigen brennbaren Bestandteilen. Ferner umfaßte sie nicht nur die beiden Hauptfraktionen, sondern auch bei der Mehrzahl der Versuchskohlen die einzelnen Siebfraktionen, um feststellen zu können, inwieweit innerhalb der Siebfraktionen Veränderungen der chemischen Zusammensetzung vorhanden sind. Dadurch war man vor unliebsamen Ueberraschungen von dieser Seite her einigermaßen sicher. Bevor die mathematische Ausrechnung der Versuchsergebnisse erfolgt, dürfte es zweckmäßig sein, festzustellen, inwieweit die Entzündlichkeiten der deutschen Versuchskohlen in den Rahmen der Ergebnisse der amerikanischen und britischen Kohlen hineinpassen. Zunächst ist es überhaupt schwer, eindeutige Vergleichsmöglichkeiten zu finden, da die in der Literatur vorhandenen Daten des Feinheitsgrades eines Kohlenstaubes sich bestenfalls auf einige Angaben über Durchgang oder Rückstand eines Siebes bestimmter Maschenweite erstrecken, wodurch über die Oberflächenentwicklung des Staubes wenig gesagt ist. Deshalb hat es auch wenig Zweck, an diesen Vergleich mit einem Maßstabe großer Genauigkeit heranzugehen. Man muß sich vielmehr damit begnügen, die Zusammenhänge in weiten Grenzen zu erfassen und darzustellen.

Godbert und Greenwald hatten ihre Versuche über die Entzündlichkeit von Kohlenstauben mit den bei der britischen sowie auch der amerikanischen Versuchsstrecke schon vorliegenden Versuchsergebnissen über die Explosionsfähigkeit von Kohlen verglichen und sind dabei zu keiner eindeutigen Uebereinstimmung gekommen. Es zeigte sich, daß, wenn die Kohlenstaube bezüglich ihrer Entzündlichkeit bezw. Explosionsfähigkeit in Abhängigkeit von ihrem Gehalt an flüchtigen brennbaren Bestandteilen graphisch dargestellt wurden, zwei sich schneidende Kurven entstanden, von denen die eine die Entzündlichkeiten der Kohlenstaube und die andere ihre Explosionsfähigkeiten wiedergab. Aber auch untereinander ergaben die Versuche in den Versuchsstrecken kein so klares Bild, daß sich eine Beziehung zwischen dem Gehalt an flüchtigen brennbaren Bestandteilen und der Explosionsfähigkeit finden läßt.[21]) Mason und Wheeler[22]) hatten zwar auf Grund ihrer Versuche mit feinen britischen Kohlenstauben eine mathematische Formel gefunden,

$$S = 100 - \frac{1250}{V}$$

(S = Gehalt an Unbrennbarem in der Grenzmischung, V = Gehalt an flüchtigen brennbaren Bestandteilen auf asche- und wasserfreier Basis), aber dieselbe ließ sich auf die Versuchsergebnisse von Godbert und Greenwald nicht anwenden.

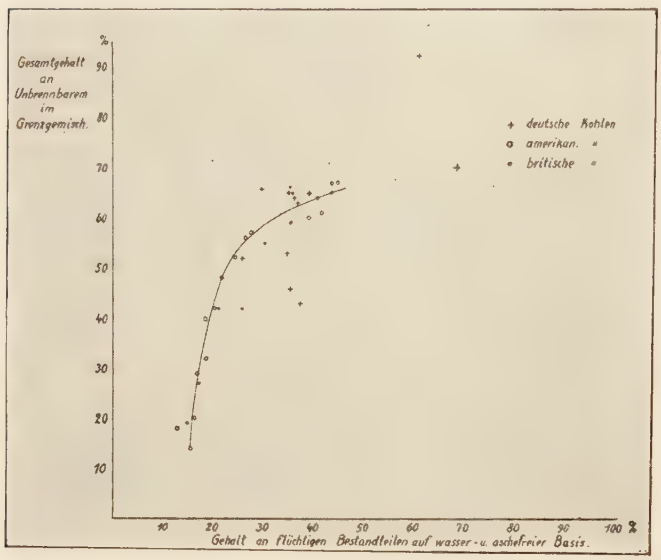
Anscheinend sind also doch Großversuch in der Versuchsstrecke und Laboratoriumsversuch zu verschieden, als daß sie sich genau aufeinander abstimmen ließen.

In folgendem Schaubild sind die Entzündlichkeiten von Kohlenstauben in Abhängigkeit von ihrem Gehalt an flüchtigen brennbaren Bestandteilen wiedergegeben, wobei neben den Ver-

[21]) G. S. Rice, J. W. Paul und H. P. Greenwald: „Coal-Dust Explosion Tests in the Experimental Mine, 1919 to 1924, Inclusive". U.S. Bureau of Mines, Bulletin 268 / 1927. — G. S. Rice und H. P. Greenwald: „Coal Dust Explosibility Factors Indicated by Experimental Mine Investigations, 1911 to 1923". Technical Paper 464, Bureau of Mines, 1929.

[22]) T. N. Mason und R. V. Wheeler: „The Inflammation of Coal Dusts: The Effect of the Presence of Firedamp". Safety in Mines Research Board Paper 64 (1931).

suchsergebnissen von Godbert und Greenwald auch die Resultate vorliegender Arbeit dargestellt sind. Die Feinheit der Kohlenstaube entspricht dabei ungefähr der von natürlichen Grubenstauben (20% feiner und 80% grober Staub). Desgleichen ist auch die Feinheit des Gesteinstaubes derjenigen der Praxis angeglichen (Godbert und Greenwald 30% fein, Simon 70% fein*).



Die Entzündlichkeitswerte der amerikanischen und britischen Kohlen gruppieren sich demnach um eine Kurve, deren mathematische Deduktion eine andere ist, als die von Mason und Wheeler gefundene Formel. Auch die Werte der deutschen Kohlen lassen sich in der Mehrzahl in den allgemeinen Kurvenzug einreihen, allerdings sind auch einige ganz erhebliche Abweichungen vorhanden, die darauf schließen lassen, daß für diese Kohlen andere Beziehungen zwischen Gehalt an flüchtigen brennbaren Bestandteilen und Entzündlichkeit bestehen.

Daß die mitteldeutsche Braunkohle mit ihrem um ca. 150° tiefer liegenden Schwelpunkt ganz aus dem Rahmen herausfällt, war zu erwarten. Erstaunlich ist aber immerhin, daß einerseits die oberbayrische Pechkohle in den Kurvenzug gut hineinpaßt — trotzdem sie ihrem oligozänen Ablagerungsalter nach zu den Braunkohlen zählt und somit eher das Gegenteil erwarten ließ — andererseits auch einige Steinkohlen stark abweichen, wofür vorläufig keine hinreichende Erklärung gegeben werden kann. Um schließlich eine tabellenmäßige Vergleichsmöglichkeit mit der von Mason und Wheeler aufgestellten Formel zu haben, werden in folgender Zahlentafel die gefundenen Entzündlichkeiten der deutschen Kohlen den mit der Wheelerschen Formel berechneten Entzündlichkeiten gegenübergestellt. Dabei sind die Kohlen der Einfachheit halber durch Kennworte (Grube oder Flöz) bezeichnet.

Tab. 14. Gefundene und errechnete Entzündlichkeiten eines „Normalstaubes" (20% Feinstes, 80% grob), ausgedrückt in Prozenten Unbrennbares im Grenzgemisch.

Kohle	Gehalt an flüchtigen brennbaren Bestandteilen, auf Reinkohle berechnet	Aschegehalt	Gefundene Entzündlichkeit*)	Entzündlichkeit, berechnet nach der Wheelerschen Formel
Andreas	35,1 %	3,13%	65%	64%
Pochhammer	38,95%	5,37%	65%	68%
Schuckmann	37,28%	7,43%	43%	66%
Kennel	35,38%	15,80%	46%	65%
Gneisenau	25,7 %	2,74%	52%	51%
Achenbach	29,5 %	5,32%	66%	58%
Bismarck	36,1 %	2,79%	64%	65%
Rudolfgrube	36,6 %	3,49%	63%	66%
Fuchsgrube	34,6 %	5,48%	53%	64%
Braunkohle	60,6 %	23,99%	92%	79%
Pechkohle	68,1 %	35,09%	70%	81%

*) Der verwendete Gesteinstaub bestand hierbei zu 70% aus Feinstem und 30% aus Grobem.

Von den Steinkohlen zeigen fünf eine befriedigende Uebereinstimmung mit dem theoretischen Wert, während drei erheblich darunter und eine darüber liegt. Im großen und ganzen ist aber auch hier das Bild das gleiche, wie bei der graphischen Darstellung.

*) Die Abweichung von den amerikanischen Daten beruht auf der Tatsache, daß der jetzt in Gebrauch befindliche Gesteinstaub durchschnittlich zu ca. 70% durch das Sieb Nr. 80 geht. Auch Godbert und Greenwald haben das später berücksichtigt.

IVb. Zusammenhang zwischen petrographischer Zusammensetzung der Kohlenstaube und Entzündlichkeit derselben.

Bereits Godbert und Wheeler[23]) waren bei ihren umfassenden Versuchen über die Entzündlichkeit von Kohlenstauben zu dem Ergebnis gekommen, daß sich nicht alle Kohlen gemäß ihrem Gehalt an flüchtigen brennbaren Bestandteilen in eine gesetzmäßige Beziehung zu der Entzündlichkeit einordnen lassen, sondern daß es Ausnahmen gibt, bei denen der Zusammenhang zwischen Entzündlichkeit und Gehalt an flüchtigen brennbaren Bestandteilen von anderen Faktoren beeinflußt ist. Es war naheliegend, diese Faktoren auf dem Gebiete der Kohlenstruktur zu suchen und die drei petrographischen Hauptbestandteile daraufhin zu prüfen, inwieweit bei ihnen die Reaktionsfähigkeit gegen Sauerstoff und damit ihre Entzündlichkeit verschieden ist. Godbert und Wheeler gingen hierbei von der Annahme aus, daß das Konglomerat Kohle aus zwei Hauptkomponenten besteht, nämlich den „Ulminstoffen" und den „Nicht-Ulminstoffen". Die ersteren besitzen nach ihren Versuchen schon bei niederen Temperaturen ein gewisses Reaktionsvermögen gegenüber Sauerstoff, während sich die „Nicht-Ulminstoffe" (Harze, Kohlenwasserstoffe, kutikulare Reste, Sporenhäute) erst bei höheren Temperaturen gegen Sauerstoff aktiv verhalten, allerdings dann auch in erheblich größerem Maße als die Ulminstoffe. Auf Grund ihrer These wiesen sie dann nach, daß bei all den Kohlen, deren Gehalt an Nicht-Ulminstoffen in engen Grenzen schwankt, das Reaktionsvermögen gegen Sauerstoff in einer funktionellen Beziehung zu ihrer Entzündlichkeit steht, während die Kohlen, deren Gehalt an Nicht-Ulminen höher war, eine von dem allgemeinen Kurvenzug abweichende Entzündlichkeit zeigten. Da der Gehalt an Nicht-Ulminen bei der Glanzkohle und der Mattkohle sehr verschieden ist — Glanzkohle enthält nach Godbert und Wheeler selten mehr als 10% Nicht-Ulmine, während bei Mattkohle der Gehalt an Nicht-Ulminen höher ist — war zu erwarten, daß dieser Umstand in der Entzündlichkeit beider petrographischen Komponenten zum Ausdruck kommen würde. Tatsächlich fanden auch Godbert und Wheeler, daß der Durit eine höhere Entzündlichkeit hat, als seinem Reaktionsvermögen gegenüber Sauerstoff entspricht, während der Vitrit sich als weniger entzündlich erwies. Von Bode[24]) ist dieses Ergebnis in gewissem Umfange durch einige Zündpunktbestimmungen nach Jentzsch bestätigt worden.

Um nunmehr bei vorliegender Arbeit eine Vergleichsmöglichkeit zwischen Entzündlichkeit und petrographischer Zusammensetzung der Kohlen zu schaffen, war es erforderlich, von allen Kohlenstauben den Gehalt an den drei petrographischen Komponenten (Vitrit, Durit und Fusit) zu bestimmen. Es wäre hierbei zweifelsohne richtiger gewesen, zur petrographischen Analyse die feinen Staube zu verwenden, da die Entzündlichkeit maßgebend vom feinen Staub abhängt. Jedoch ist bei feinen Stauben die Auszählmethode unter dem Mikroskop, worauf auch Bode[24]) hinwies, wegen der geringen Teilchengröße unzuverlässig. Man war deshalb gezwungen, die groben Staube zur petrographischen Bestimmung zu verwenden. Daß zwischen grobem Staub und feinem bezüglich ihrer petrographischen Zusammensetzung Unterschiede bestehen, liegt hierbei durchaus im Bereich des Möglichen, ist aber vielleicht nicht so hoch zu werten, weil die Vergleichsstaube zu 80% aus grobem Staub bestehen. Tatsächlich hat auch

[23]) A. L. Godbert und R. V. Wheeler: „The Relative Inflammability of Coal Dusts: A Laboratory Study". Safety in Mines Research Board Paper 56 (1929).

[24]) H. Bode: „Ergebnisse und Aufgaben der petrographischen Kohlenstaubuntersuchung". Glückauf, H. 23, 1934.

eine Ueberschlagsrechnung mit der sinngemäß abgeänderten Wheeler'schen Formel bei den groben Stauben ergeben, daß ihre Entzündlichkeiten im großen und ganzen das gleiche Bild bieten wie die Vergleichsstaube; im letzteren Falle scheidet aber eine petrographische Verschiebung aus. Die nachstehende Zahlentafel gibt die Ergebnisse der petrographischen Analysen wieder.

Tab. 15. Petrographische Zusammensetzung der groben Staube der Versuchskohlen.

Kohle	Vitrit %	Durit %	Fusit %	Schwefelkies %	Berge %
Andreas	38,0	58,0	3,1	—	0,9
Pochhammer	33,9	63,7	1,2	0,6	0,6
Schuckmann	12,3	80,3	1,6	0,4	5,4
Kennel	0,6	99,15	0,25	—	—
Gneisenau	51,3	22,0	22,1	3,0	1,6
Achenbach	53,6	21,8	23,0	0,7	0,9
Bismarck	38,3	52,7	3,5	2,5	3,0
Rudolfgrube	45,3	48,5	1,9	0,8	3,5
Fuchsgrube	51,1	45,1	1,1	—	2,7

Vergleicht man die petrographischen Zusammensetzungen der Kohlen mit ihren Entzündlichkeiten auf der vorigen Zahlentafel (Tab. 14), so zeigt sich zunächst einmal, daß die Kohlen mit hohem Duritgehalt (Kennel*), Schuckmann) eine von dem Wheeler'schen theoretischen Wert stark abweichende Entzündlichkeit aufweisen, und zwar liegt dieselbe erheblich niedriger als die berechnete. Dagegen scheint ein hoher Vitritgehalt (Achenbach) die Entzündlichkeit der Kohle nach der entgegengesetzten Richtung hin zu beeinflussen. Dies steht einerseits im Gegensatz zu den Ergebnissen von Godbert, Wheeler und auch Bode, die gerade dem Durit eine höhere Entzündlichkeit beimessen als dem Vitrit; andererseits würde es aber die Feststellungen der Versuchsstrecken bestätigen, daß nämlich Fett- und Gaskohlenstaub im allgemeinen entzündlicher ist, als Gasflammkohlenstaub. Ferner sprechen die Versuche von Hack[26]), der den Einfluß der Schwelprodukte auf den Zündpunkt von Kohlenstaub bei mehreren Kohlen bestimmte und dabei teilweise die petrographischen Komponenten getrennt behandelte, gleichfalls dafür, daß Vitrit im allgemeinen entzündlicher ist als Durit. Hack deutet dies so, daß Durit zwar in der Regel eine höhere Urteerausbeute ergibt als Vitrit — eine Tatsache, auf die Wheeler besonders hinwies — daß aber beim Vitrit größere Schwelgasmengen mit höherem Gehalt an leicht entzündlichem Wasserstoff als beim Durit erhalten werden. Letzterer Umstand ist demnach nach Hack für die Entzündlichkeit einer Kohle von größerer Bedeutung als der Gehalt an Urteer, allerdings mit der Einschränkung, daß die Urteerbasis nicht zu sehr verschieden ist, wie z. B. beim Fusit, wo bei teilweise auch sehr hohem Wasserstoffgehalt des Schwelgases infolge der ganz wesentlich geringeren Schwelfähigkeit eine geringere Entzündlichkeit beobachtet wurde als beim Vitrit und Durit. Es scheint angebracht, diese Deutung der Entzündlichkeit von Kohlenstauben durch eine gedrängte Wiedergabe der Hack'schen Versuchsergebnisse zu veranschaulichen. Letztere, von einigen oberschlesischen Gasflammkohlen stammend, sind in folgender Zahlentafel wiedergegeben.

Tab. 16. Kennziffern für die Entzündlichkeit der Bestandteile oberschlesischer Kohlenstaube nach Hack.

Ursprungsort der Kohle		Vitrit	Durit	Fusit
Paulusflöz:				
a) Urteergehalt in %		8,45	15,35	4,80
b) Schwelgasmenge von 20 gr Kohle in ccm		1317	1195	826
c) H_2-Gehalt des Schwelgases in %		24,7	15,4	38,0
d) Schwelpunkt °C *)		330	345	424
e) Zündpunkt °C *)		203	213	262
Marieflöz:	a)	9,00	7,85	4,75
	b)	1457	957	733
	c)	32,4	17,5	17,3
	d)	327	388	435
	e)	200	237	264
Einsiedel-Oberbank:	a)	9,50	11,40	1,70
	b)	1395	1139	423
	c)	16,5	16,2	31,9
	d)	360	370	462
	e)	218	224	302

*) Diese Kennelkohle ist kein selbständiges, im Flözverbande einheitlich vorhandenes Flöz, sondern eine mehr in örtlicher Verbreitung auftretende Bank im Hangenden des Heinitzflözes, die nach Lange[25]) 0,56 bis 0,75 cm mächtig ist.

[25]) Th. Lange: „Der petrographische Aufbau der Sattelflöze Oberschlesiens. Makroskopische Beschreibung". Kohle und Erz, Heft 21, 1928, S. 798.

[26]) W. Hack: „Der Einfluß der Schwelprodukte auf den Zündpunkt von Steinkohlenstaub". Dissertation 1931. Technische Hochschule Berlin.

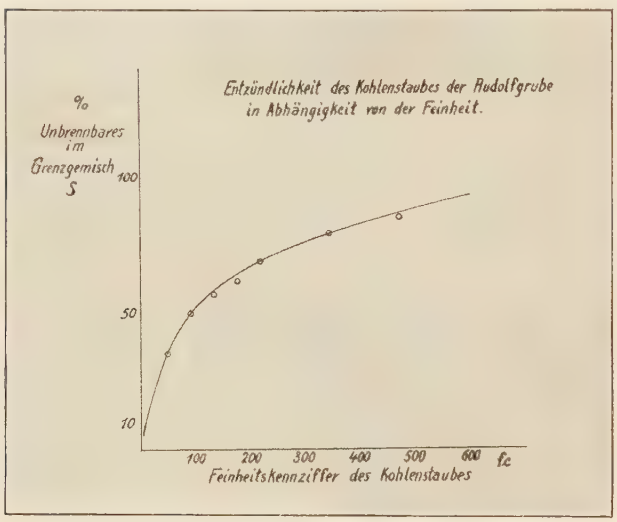
Ursprungsort der Kohle		Vitrit	Durit	Fusit
Einsiedel-Niederbank:	a)	10,1	14,75	4,05
	b)	1141	1138	567
	c)	15,7	13,9	16,7
	d)	336	353	443
	e)	218	216	272
Schuckmann:	a)	11,7	13,15	5,00
	b)	1328	1120	778
	c)	14,1	16,1	15,7
	d)	355	360	420
	e)	217	220	261
Pelagieflöz:	a)	12,05	18,65	3,70
	b)	1301	1230	644
	c)	15,5	15,1	18,0
	d)	352	340	442
	e)	215	210	270
Heinitzflöz:	a)	10,15	10,80	3,05
	b)	1257	1080	698
	c)	14,7	14,8	15,2
	d)	366	375	402
	e)	222	227	251
Redenflöz:	a)	12,55	10,05	6,60
	b)	1289	1133	869
	c)	15,4	15,6	18,8
	d)	358	376	398
	e)	216	227	245
Pochhammer-flöz:	a)	11,6	22,0	5,90
	b)	1319	1337	812
	c)	14,4	15,3	17,2
	d)	359	335	416
	e)	219	209	256

*) Die in der Tabelle von Hack auftretenden großen Differenzen zwischen Zündpunkt und Schwelpunkt sind darauf zurückzuführen, daß zwei ganz verschiedene Methoden und Apparate, nämlich für den Zündpunkt der Zündwertprüfer nach Jentzsch und für den Schwelpunkt die Methode nach Steinbrecher angewandt wurden. Die näheren Angaben über beide Methoden sind für Steinbrecher im Braunkohlenarchiv 1926, Heft 14, S. 173, und für den Zündwertprüfer nach Jentzsch in den VDI-Zeitschriften 1924, S. 1150, und 1925, S. 1353, zu finden.

Man kann aus diesen bemerkenswerten Zahlen von Hack zunächst einmal entnehmen, daß in 7 von 9 Fällen der Schwelpunkt und in 6 von 9 Fällen der Zündpunkt beim Vitrit niedriger liegt als beim Durit. Dagegen ist in 7 von 9 Fällen die Urteerausbeute beim Durit höher als beim Vitrit. Die Schwelgasmenge ist wiederum in 8 von 9 Fällen und der Gehalt derselben an Wasserstoff in 5 von 9 Fällen beim Vitrit größer als beim Durit. Im großen und ganzen betrachtet, ist also die Entzündlichkeit des Vitrits höher als die des Durits, und die von Hack gegebene Deutung besteht zweifelsohne zu Recht. Es wäre aber falsch, wollte man die These verallgemeinern und sich einseitig in dem obigen Sinne festlegen. Gerade die Hack'schen Zahlen mahnen hierin zu großer Vorsicht; denn in vorstehender Zahlentafel sind auch einige Fälle vorhanden, die sich bezüglich der Entzündlichkeit von Durit und Vitrit geradezu entgegenstehen. Beim Marieflöz z. B. ist der Vitrit dem Durit in seiner Entzündlichkeit ganz eindeutig überlegen, sogar die Urteerbasis liegt in diesem Falle beim Vitrit höher. Dagegen liegen die Verhältnisse bezüglich der Entzündlichkeit beider Komponenten beim Pelagieflöz und noch mehr beim Pochhammerflöz gerade umgekehrt. Eine gewisse Bestätigung liefert übrigens auch die Zahlentafel der Entzündlichkeit (Tab. 14) dieser Arbeit. Wollte man nämlich die Abweichungen der Entzündlichkeiten vom theoretischen Wert rein petrographisch mit ihrem Gehalt an Vitrit bezw. Durit erklären, würde man in einigen Fällen auf erhebliche Widersprüche stoßen. Die Pochhammerkohle mit fast 64% Durit weicht z. B. vom theoretischen Wert nur sehr wenig ab, dagegen ist die Entzündlichkeit der Kohle der Fuchsgrube im Vergleich zu ihrem Wheeler'schen Wert zu niedrig, trotzdem ihr Vitritgehalt ca. 51% beträgt. Ferner wäre es nicht recht einleuchtend, warum einerseits die Andreaskohle mit 58% Durit in ihrer Entzündlichkeit noch etwas über dem theoretischen Wert liegt, während andererseits die Kohle der Rudolfgrube mit 45% Vitrit niedriger liegt. Weshalb die Gneisenaukohle mit ihrem hohen Vitritgehalt von 51% bezüglich ihrer Entzündlichkeit nur wenig über dem theoretischen Wert liegt, könnte man schließlich so erklären, daß der nicht unerhebliche Gehalt der Gneisenaukohle an wenig entzündlichem Fusit die Entzündlichkeit des Vitrits stark hemmt. Aber die gleiche Erklärung müßte man dann auch der Achenbachkohle zugestehen, die sich bezüglich der petrographischen Zusammensetzung wenig von der Gneisenaukohle unterscheidet, dagegen eine erheblich höhere Entzündlichkeit aufweist. Die Ergebnisse von Hack und auch dieser Arbeit bewegen sich demnach auf einer Linie, nämlich der, daß die petrographische Zusammensetzung einer Kohle gewisse, allerdings nur bedingte Rückschlüsse auf die Entzündlichkeit zuläßt, und zwar insofern, als der Vitrit im allgemeinen entzündlicher ist als der Durit. Diese Ueberlegenheit des Vitrits gegenüber dem Durit ist jedoch anscheinend stark vom Inkohlungsgrade der betreffenden Kohle abhängig und kann mit Sicherheit nur von Fall zu Fall entschieden werden.

V. Die mathematische Auswertung der Versuchsergebnisse.

Stellt man die Entzündlichkeit S eines Kohlenstaubes in Abhängigkeit von seinem Feinheitsgrade graphisch dar, so erhält man eine Kurve — siehe nachstehendes Bild —, die nach anfangs steilem Anstieg allmählich asymptotisch zur Ordinate 100% verläuft.



Die Gleichung dieser Kurve erhält man aus der allgemeinen Entzündlichkeitsgleichung von Godbert und Greenwald,

$$L = \frac{a \cdot fc + b}{fi^m},$$

indem man dieselbe von der Entzündlichkeitskennziffer L nach der Entzündlichkeit S umformt, dabei fi^m als konstant annimmt und in die Konstanten a und b mit einbezieht. Sie lautet folgendermaßen:

$$S = \frac{100\,(a \cdot fc + b)}{1 + a \cdot fc + b}.$$

Dabei sind fc die Feinheitskennziffer des Kohlenstaubes und a und b Konstanten.

Nimmt in dieser Gleichung fc sehr hohe Werte an, so wird S entsprechend dem asymptotischen Charakter der Kurve nahezu 100. Umgekehrt wird für

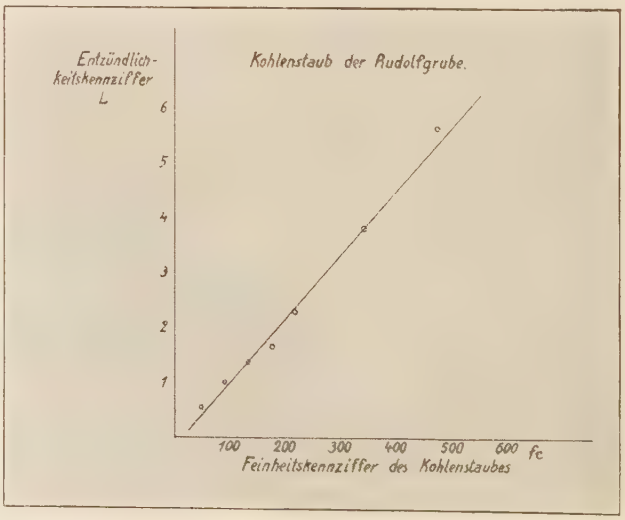
$$fc = 0$$

$$S = \frac{100\,b}{1 + b}.$$

Die Konstante b ist demnach dafür maßgebend, an welcher Stelle die Kurve die Achsen des Koordinatensystems schneidet. Weiterhin ist die Konstante a als Faktor von fc bestimmend für die Steilheit bezw. Krümmung der Kurve; je größer a ist, desto stärker ist auch die Kurve gekrümmt. Wegen ihrer zahlenmäßigen Begrenztheit und der daraus sich ergebenden mathematischen Beziehung zur Oberfläche scheint deshalb die Entzündlichkeit S wenig geeignet, die Abhängigkeit zwischen Entzündlichkeit und Oberfläche eines Staubes wiederzugeben. Deshalb beschritten auch Godbert und Greenwald für ihre mathematische Ableitung einen anderen Weg und nahmen anstelle von S die Entzündlichkeitskennziffer L. Dieselbe ist der Quotient Unbrennbares durch Brennbares im Grenzgemisch. Und daraus ergeben sich definitionsgemäß zwischen S und L folgende Gleichungen:

1 a) $L = \frac{S}{100 - S}$ bezw. 1 b) $S = \frac{100\,L}{1 + L}$.

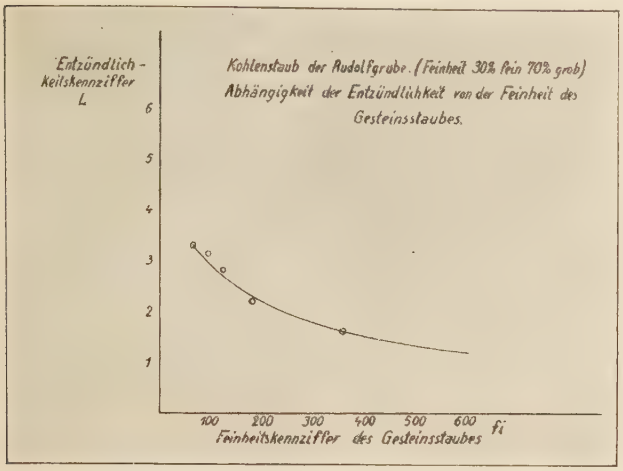
Die Ueberlegenheit von L gegenüber S kommt am besten durch eine graphische Darstellung zum Ausdruck. Im folgenden Bilde ist die gleiche Beziehung zwischen Entzündlichkeit und Oberfläche wiedergegeben wie in dem vorhergehenden. Lediglich anstelle der Variablen S ist die Entzündlichkeitskennziffer L getreten.



Aus einer Kurve ist nunmehr eine gerade Linie geworden, für die bekanntlich die einfache Gleichung

$$L = a \cdot fc + b$$

gilt. Stellt man schließlich die mathematische Beziehung zwischen Entzündlichkeit und Feinheitskennziffer des Gesteinstaubes ebenfalls graphisch dar, so erhält man eine sich nach der Abszisse zu verflachende Kurve.



Die Entzündlichkeit nimmt also mit steigender Feinheitskennziffer des Gesteinstaubes ab und ist ihrem reziproken Wert proportional. Godbert und Greenwald stellten hierfür die Gleichung auf:

$$L = \frac{c}{fi^m + d}.$$

Die Beziehung zwischen L und fi ist logarithmisch. Die Konstante c ist für jede Kohle spezifisch, während die Konstante d verhindert, daß für fi = 0, L = ∞ wird. Beide Beziehungen lassen sich nunmehr in einer Gleichung vereinigen, und zwar ist

$$L = \frac{c \cdot (a \cdot fc + b)}{fi^m + d} = \frac{a' \cdot fc + b'}{fi^m + d}$$

(wobei $a' = a \cdot c$ und $b' = b \cdot c$ ist).

Godbert und Greenwald versuchten zunächst einmal, obige Gleichung auf die Ergebnisse der Siebanalyse anzuwenden, und zwar bezeichneten sie mit Fc den prozentualen Durchgang eines Kohlenstaubes durch das Tylersieb Nr. 200 (74 μ lichte Maschenweite), und dementsprechend mit Fi die Feinheit des Gesteinstaubes. Gleichzeitig führten sie als Standardwert eine Normalentzündlichkeit So ein, für die sie die Entzündlichkeit eines Kohlenstaubes von 20% Gehalt an feinem Staub, gemischt mit einem Gesteinstaube von 30% Gehalt an feinem Staub, wählten. Sie erhielten so eine Gleichung:

$$L = \frac{0{,}03\ So \cdot (Fc + 0{,}5\ So - 16)}{Fi^{0{,}8} + 25},$$

in der die Konstanten a' und b' durch folgende Beziehungen mit So verknüpft sind:

$a' = 0{,}03$ So und $b' =$ So $(0{,}015$ So $- 0{,}48)$. Ferner setzten sie die Konstante d = 25 und den Potenzexponenten von Fi, m, = 0,8.

Die Angleichung an die Ergebnisse von Godbert und Greenwald war jedoch nicht befriedigend. Zwischen gefundenen und berechneten Entzündlichkeiten der Versuchskohlen traten Differenzen bis zu 10% auf und überschritten somit die Fehlergrenze von 5%, die bei der Gesteinstaubstreuung in der Grube als möglich angenommen wird. Da außerdem die Oberflächenentwicklung der Staube in dieser Gleichung nach den Ausführungen im Abschnitt III unzureichend wiedergegeben ist, wurde auf eine Nachprüfung mit den Versuchen vorliegender Arbeit verzichtet. Godbert und Greenwald erkannten wohl auch die Unzulänglichkeit dieser mathematischen Formulierung, denn sie stellten späterhin eine neue Gleichung auf, die als Grundlage die Feinheitskennziffern (relative spezifische Oberflächen) der Staube hat. Dieselbe lautet:

$$2)\ L = \frac{a \cdot fc + b}{fi^m}.$$

Hierbei ist also L die Entzündlichkeitskennziffer des Kohlenstaubes, fc seine Feinheitskennziffer und fi die Feinheitskennziffer des Gesteinstaubes. Die Konstanten a, b und m sind für jede Kohle spezifisch und müßten demnach von Fall zu Fall bestimmt werden. Der praktische Wert obiger Beziehung ist jedoch umsomehr in Frage gestellt, je umfangreicher die dazu notwendigen Versuche sind. Godbert und Greenwald fanden hierfür, in Anlehnung an ihre vorher aufgestellte Formulierung der Entzündlichkeit, folgende Lösung. Wiederum von der Normalentzündlichkeit So ausgehend, und zwar in Form der Normalentzündlichkeitskennziffer Lo $\left(Lo = \frac{So}{100 - So}\right)$, nahmen sie an, daß alle mit der Kohlenart variablen Elemente der Größen a und b sich durch einfache Gleichungen mit Lo in Beziehung bringen lassen. Ferner setzten sie den Potenzexponenten von fi, m, = 0,4 und gaben ihm damit den Charakter einer von der Kohlenart unabhängigen Konstanten. Auf der Grundlage ihrer Versuchskohlen gelangten sie somit zu der Gleichung:

$$3)\ L = \frac{0{,}075\ Lo \cdot (fc + 40\ Lo - 55)}{fi^{0{,}4}}.$$

In konstruktiver Hinsicht ist hierbei folgendes bemerkenswert:

1. Die Konstante a steht in einfacher Beziehung zu Lo, und zwar ist $a = K \cdot Lo$, wobei K eine von der Kohlenart unabhängige Konstante mit dem Wert 0,075 darstellt. Godbert und Greenwald gehen demnach von der stillschweigenden Voraussetzung aus, daß durch Lo die Neigung der Geraden ausreichend bestimmt sei. Dies mußte allerdings erst nachgeprüft werden, da bekanntlich eine Gerade nicht durch einen Punkt, sondern erst durch zwei Punkte festgelegt ist.
2. Für die Konstante b ergibt sich aus obiger Gleichung $b = 3\ Lo^2 - 4{,}125\ Lo$, d. h. b und Lo sind durch eine quadratische Funktion miteinander verbunden. Dabei ist b dann gleich 0 (die Gerade geht durch die Achse des Koordinatensystems), wenn $3\ Lo^2 = 4{,}125\ Lo$ oder $Lo = 1{,}375$ ist.

Für alle Kohlen, deren Normalentzündlichkeitskennziffer Lo größer als 1,375 ist, bezw. deren Normalentzündlichkeit So höher als 58% liegt, ist demnach b positiv. Es ergibt sich dadurch der theoretisch unmögliche Fall, daß von diesen Kohlen alle Staubfeinheiten entzündlich sind. Die Absicht von Godbert und Greenwald, diese Tatsache experimentell nachzuprüfen, ist zwar in vorliegender Arbeit erfüllt und hat auch bei den deutschen Kohlen zu dem Ergebnis geführt, daß bei deren Mehrheit gleichfalls b positiv ist. Man darf dies jedoch nicht als Bestätigung der amerikanischen Ergebnisse auffassen, es spricht sehr dafür, daß in der Versuchsanordnung von Godbert und Greenwald noch ein methodischer Fehler vorhanden ist.

Wenn die Annahme, daß der Potenzexponent m eine von der Kohlenart unabhängige Konstante ist, zu Recht besteht, dann müßte dieser Umstand aus dem vorliegenden Versuchsmaterial klar hervorgehen, da die Größe m ohne weiteres der unmittelbaren Berechnung zugänglich ist. Man braucht nur den einfachen Fall ins Auge zu fassen, daß von irgendeinem Kohlenstaub die Entzündlichkeit erst mit grobem und dann mit feinem Gesteinstaub bestimmt wird. Es ergibt sich dann, wenn im ersteren Falle (grober Gesteinstaub) die Entzündlichkeitskennziffer L_1 und die Feinheitskennziffer fi_1 ist, und im zweiten Falle (feiner Gesteinstaub) dementsprechend L_2 und fi_2:

$$L_1 \cdot fi_1^m = a \cdot fc + b \text{ und}$$
$$L_2 \cdot fi_2^m = a \cdot fc + b.$$

Da fc in beiden Fällen gleich ist, wird also auch:

$$L_1 \cdot fi_1^m = L_2 \cdot fi_2^m \text{ oder}$$
$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{fi_2}{fi_1}\right)^m.$$

Durch Logarithmieren und Entwickeln nach m, geht dann diese Gleichung in folgenden Ausdruck über:

$$4)\quad m = \frac{\log L_1 - \log L_2}{\log fi_2 - \log fi_1}.$$

Aus den Zahlentafeln des Abschnittes IV a) benutzte man demnach für die Berechnung von m die erste und letzte Zahlenspalte und kam dadurch, da von jeder Kohle insgesamt 7 verschiedene Kohlenstaube vorhanden waren, zu 7 Werten von m, aus denen dann der Durchschnittswert ermittelt wurde. Gleichzeitig wurden auch die Versuchskohlen von Godbert und Greenwald mit zur Berechnung herangezogen. Die Ergebnisse sind in folgender Zahlentafel wiedergegeben:

Tab. 17. Nach Formel 4 errechnete Werte des Potenzexponenten m der Versuchskohlen der vorliegenden Arbeit und der amerikanischen Kohlen von Godbert und Greenwald.

Kohle	Potenzexponent m	Kohle	Potenzexponent m
Andreas	0,59	A 20	0,34
Pochhammer . .	0,55	A 12	0,52
Schuckmann . .	0,43	A 7	0,44
Kennel	0,38	A 6	0,34
Gneisenau . . .	0,54		
Achenbach . . .	0,59		
Bismarck	0,53		
Rudolfgrube . .	0,39		
Fuchsgrube . . .	0,47		

A 20: Pennsylvania, Flöz Pittsburgh
A 12: West Virginia, Flöz Sewell
A 7: West Virginia, Flöz Beckley
A 6: Pennsylvania, Flöz Upper Kittanning

Aus diesen Zahlen ist ersichtlich, daß der von Godbert und Greenwald angegebene Wert von 0,4 insofern kaum als tragbare Basis betrachtet werden kann, als nämlich Differenzen von maximal + 50% vorhanden sind. Allenfalls könnte man die Kohlen in vier Gruppen aufteilen, und zwar eine davon mit dem Potenzexponenten 0,3 (A 6, A 20), eine zweite mit m = 0,4 (Kennel, Schuckmann, Rudolfgrube, A 7), eine dritte mit m = 0,5 (Fuchsgrube, Bismarck, Gneisenau, Pochhammer, A 12) und eine vierte mit m = 0,6 (Achenbach, Andreas). Ein Zusammenhang zwischen dem Potenzexponenten m und der Entzündlichkeit der Kohle ist hierbei

in großen Zügen erkennbar. Scheinbar ist die Oberflächenentwicklung des zugemengten Gesteinstaubes umsomehr auf die Entzündlichkeit einer Kohle von Einfluß, je entzündlicher die Kohle selbst ist. So befinden sich in den Gruppen mit m = 0,3 und m = 0,4 in der Mehrzahl wenig entzündliche Kohlen, wie A 6, Kennel, Schuckmann und A 7, während in die Gruppe m = 0,6 die leicht entzündliche Achenbach- und Andreaskohle gehören. Allerdings ist dies Bild insoweit ebenfalls nicht einheitlich, als auch einige Kohlen mit hoher Entzündlichkeit (A 20, Rudolfgrube) einen kleinen Wert von m besitzen. Das vorliegende Versuchsmaterial ist zweifelsohne zu gering, um darüber ein abschließendes Urteil zu fällen. Soviel steht aber jetzt schon fest, daß die Größe m keinesfalls eine von der Kohlenart unabhängige Konstante ist, sondern daß zwischen Entzündlichkeit der Kohle und der zahlenmäßigen Größe von m irgendwelche, noch nicht klar erkennbare Zusammenhänge bestehen.

Zur Nachprüfung der von Godbert und Greenwald gegebenen Deduktion der Konstanten a muß von dem Begriff des Differential-Quotienten einer linearen Funktion $y = ax + b$ ausgegangen werden. Derselbe ist $\frac{dy}{dx} = a$ und kann für den Sonderfall einer geraden Linie auch dem Quotienten der Differenzen zweier Werte von y und x, also $\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ gleichgesetzt werden. Ueberträgt man dies sinngemäß auf die Gleichung

$$L = \frac{a \cdot fc + b}{fi^m},$$

so muß zur Berechnung von a die Entzündlichkeit zweier in ihrer Feinheit verschiedener Kohlenstaube mit dem gleichen Gesteinstaub bestimmt werden. Man wird dementsprechend aus den Zahlentafeln des Abschnittes IV a) zwei in derselben senkrechten Spalte stehende Kohlenstaube herausgreifen, die sich in ihrem Gehalt an feinem Staub unterscheiden, und zwar die Kohlenstaube 20 und 70, und deren Entzündlichkeitskennziffern (L) aus den dort angegebenen Entzündlichkeiten S berechnen. Sei die Entzündlichkeitskennziffer des Staubes 20, L_1 und die des Staubes 70, L_2 und die dazugehörigen Feinheitskennziffern fc_1 bezw. fc_2, so ist nach obiger Formel:

$$L_2 \cdot fi^m = a \cdot fc_2 + b \text{ und ferner}$$
$$L_1 \cdot fi^m = a \cdot fc_1 + b.$$

Subtrahiert man beide Gleichungen voneinander und entwickelt gleichzeitig nach a, so erhält man

$$5) \quad a = fi^m \cdot \frac{L_2 - L_1}{fc_2 - fc_1}.$$

Setzt man ferner diesen Wert in eine der beiden Gleichungen für a ein, so ist b

$$6) \quad b = fi^m \cdot \left(L_1 - \frac{L_2 - L_1}{fc_2 - fc_1} \cdot fc_1\right) =$$
$$fi^m \cdot \left(L_2 - \frac{L_2 - L_1}{fc_2 - fc_1} \cdot fc_2\right).$$

Da bei jeder Kohle insgesamt 7 verschiedene Gesteinstaube zur Verfügung stehen, so könnten, ganz analog wie bei m, 7 Werte von a berechnet werden. Es dürfte aber bereits eine hinreichende Genauigkeit von a erzielt werden, wenn man sich auf die erste und letzte senkrechte Spalte (Gesteinstaub 0 und 100) beschränkt und aus den beiden erhaltenen Zahlen von a den Mittelwert bildet. Um die nach der Methode von Godbert und Greenwald ermittelten Werte von a mit den nach obigen Verfahren berechneten vergleichen zu können, ist es erforderlich, den Potenzexponenten m einheitlich festzulegen. Dies widerspricht zwar den aus vorliegenden Versuchsergebnissen gezogenen Folgerungen, ist aber in diesem Falle zwangsläufig, da andernfalls jede Vergleichsmöglichkeit aufhört. Deshalb ist es auch verständlich, daß diese Festsetzung von m nur auf der Basis von Godbert und Greenwald erfolgen kann, wobei also m = 0,4 ist.

In folgender Zahlentafel sind für sämtliche Versuchskohlen (deutsche und amerikanische Steinkohlen) die berechneten Werte von a angegeben.

Tab. 18. Errechnete Werte der Neigungskonstanten a nach der Formel von Godbert und Greenwald und nach Formel 5 der vorliegenden Arbeit.

Kohle	a berechnet nach Godbert und Greenwald	a berechnet nach dem Zweipunktsystem
Andreas	0,214	0,122
Pochhammer	0,193	0,085
Schuckmann	0,096	0,075
Kennel	0,072	0,050
Gneisenau	0,139	0,096
Achenbach	0,193	0,093
Bismarck	0,167	0,114
Rudolfgrube	0,139	0,130
Fuchsgrube	0,108	0,093
A 20	0,133	0,095
A 12	0,092	0,086
A 7	0,054	0,051
A 6	0,035	0,033

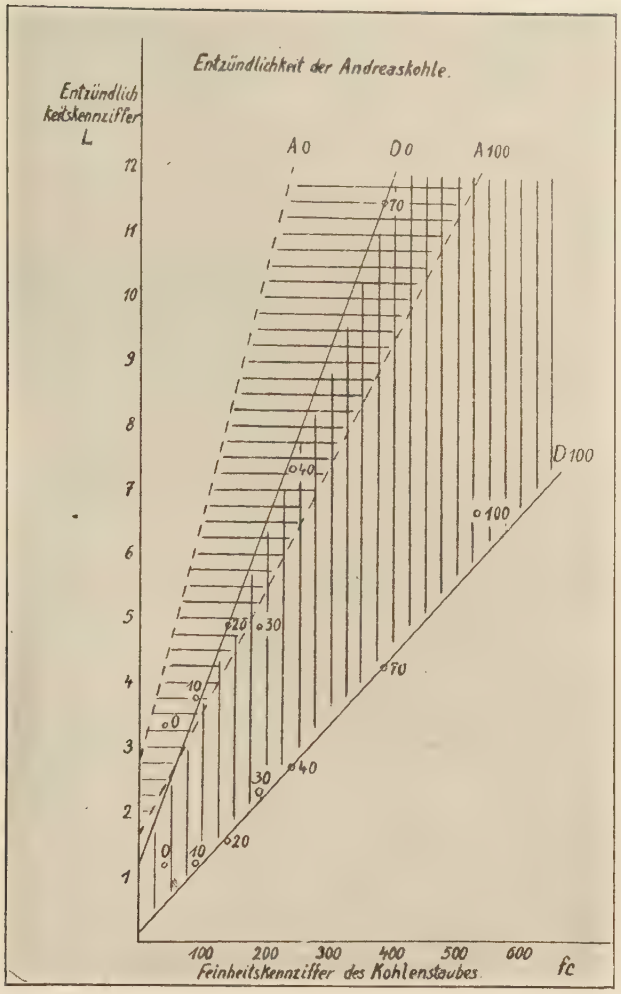
Erstaunlich ist es, wie weitgehend hierbei die auftretenden Differenzen zwischen den nach beiden Methoden berechneten Werten von a sind. Es erweckt den Anschein, als ob irgend eine Vergleichsmöglichkeit überhaupt nicht besteht; denn von 13 Versuchskohlen stimmen allenfalls 4 (Rudolfgrube, A 12, A 7 und A 6) einigermaßen überein, während sonst im allgemeinen die Werte nach Godbert und Greenwald ganz erheblich höher (teilweise mehr als doppelt so hoch) liegen als die nach dem Zweipunktsystem berechneten Zahlen von a. Ferner ist aus Gleichung 6) [Seite 29] zu ersehen, daß damit auch bei der Konstanten b eine Uebereinstimmung zwischen beiden Methoden nicht zu erwarten ist.

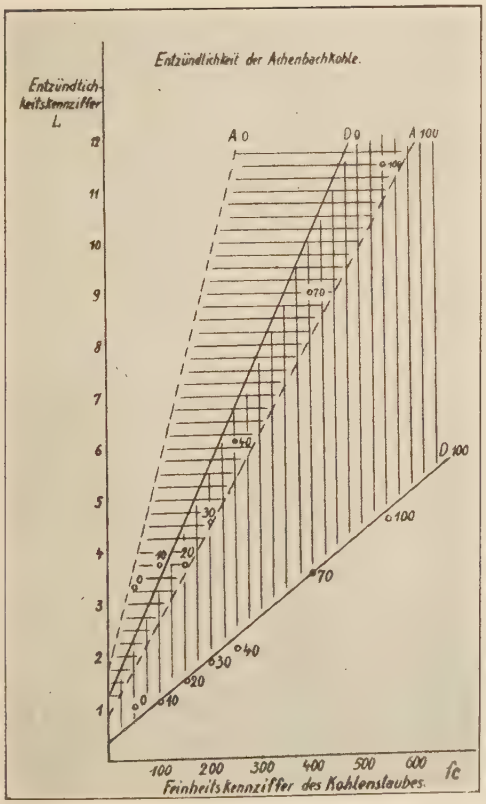
Nachdem somit die Nachprüfung der amerikanischen Formel in den wesentlichen Punkten, nämlich der Berechnung der Konstanten a, b und m, stark abweichende Ergebnisse erbrachte, mußten die daraus entstehenden Folgerungen zu einer grundlegenden Aenderung der geplanten Zielsetzung führen. Danach war es wenig erfolgversprechend, sich lediglich auf die Anwendbarkeit der amerikanischen Formel für deutsche Kohlen zu beschränken, wie eigentlich vorgesehen war, zumal das Ergebnis dieser Nachprüfung bereits in großen Zügen, und zwar im negativen Sinne, festlag. Es mußte vielmehr darüber hinaus ein neuer Weg gesucht werden, um vielleicht zu einer besseren Gleichung zu gelangen. Daß dieses Ziel nicht lediglich von praktischen Gesichtspunkten aus zu erreichen ist, liegt eigentlich auf der Hand; denn jede mathematische Ableitung kann nur dann erfolgreich sein, wenn sie nach exakten wissenschaftlichen Grundsätzen geschieht, und nicht wie bei Godbert und Greenwald ihren Schwerpunkt in irgendwelchen praktischen Gründen hat. Diese Normalentzündlichkeit So ist doch schließlich keine willkürlich gewählte Zahl. Sie findet ihre tiefere Begründung darin, daß Grubenstaube im Durchschnitt 20 bis 30% Gehalt an feinem Staub besitzen. So sehr es deshalb reizt, hier die Verankerung einer mathematischen Ableitung zu suchen, ist dies aber gerade sowohl im mathematischen als auch im physikalischen Sinne bedenklich, da sich eine Gerade nun einmal nicht durch einen Punkt festlegen läßt, wenn man nicht über das mögliche Drehmoment um diesen Punkt zuverlässige Angaben besitzt. Schließlich ist auch ein Staub, der nur zu $^1/_5$ aus feinem Staub besteht, in seinem Aufteilungsvermögen in der Luft viel zu heterogen, um eine zuverlässige Grundlage abzugeben.

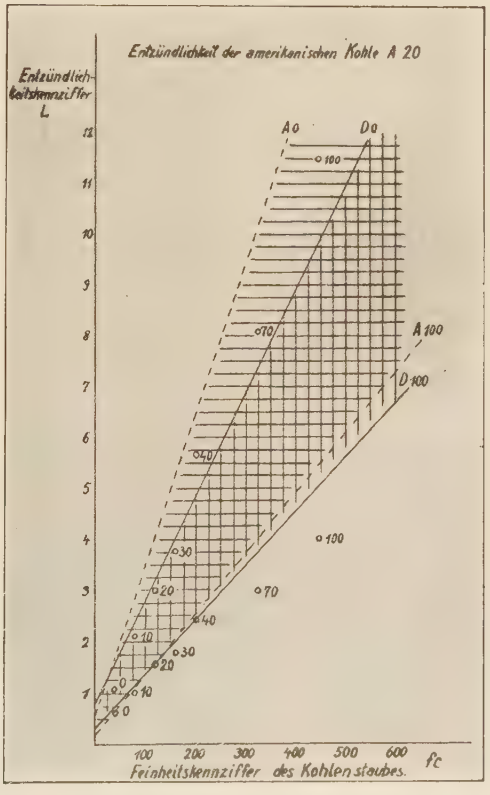
In diesem Zusammenhange ist es noch wichtig, auf die von Godbert und Greenwald angegebene Tatsache hinzuweisen, daß nämlich die Entzündlichkeiten einer Reihe von groben Stauben (Grubenstauben mit 20% Gehalt an Feinem) genau so groß waren, wie die in der Versuchsstrecke zu Buxton bestimmten Explosionsfähigkeiten der feinen Staube derselben Kohlen. Nimmt man aber eine Vergleichsmöglichkeit zwischen den mit der Versuchsanordnung nach Godbert und Greenwald erhaltenen Werten der Entzündlichkeiten und den Explosionsfähigkeiten in den Versuchsstrecken als feststehend an, so müssen diese Versuche in Buxton sehr nachdenklich stimmen.

Betrachtet man nunmehr von dem Gesichtspunkt aus, daß die Versuchsstreckenergebnisse in Buxton als Vergleichsbasis brauchbar sind, die Entzündlichkeiten der groben Staube, so kommt man zu dem Schluß, das zweifelsohne eine Ueberbewertung der groben Staube vorliegt, und daß jede mathematische Ableitung, die in diesem Bereich ihren einzigen Anhaltspunkt hat, zu hohe Werte ergeben muß. Die Ergebnisse in der letzten Zahlentafel würden somit eine logische Erklärung finden. Besonders kraß kommt ferner diese Tatsache in der graphischen Darstellung zum Ausdruck, und zwar in den folgenden Abbildungen (Seite 31), die die Entzündlichkeiten einiger Kohlen (Andreas, Achenbach, A 20) wiedergeben. Hierbei sind die Werte der ersten und letzten Zahlenreihe, also die Entzündlichkeiten mit den Gesteinstauben 0 und 100 verwendet worden, so daß der gesamte Entzündlichkeitsbereich flächenmäßig erfaßt und dargestellt wird.

Auf den durchgezogenen Linien der nachstehenden Abbildungen liegen die nach dem Zweipunktsystem berechneten Werte, und zwar D 100 mit Gesteinstaub 100, sowie Do mit Gesteinstaub 0, und auf den punktierten Linien A 100 und A o dementsprechend die Zahlen von Godbert und Greenwald. Die durch offene Kreise gekennzeichneten Punkte sind die durch Versuche erhaltenen Entzündlichkeiten, und zwar bedeutet die danebenstehende Zahl den Gehalt des Kohlenstaubes an feinem Staub. Eine besondere Bezeichnung der verwandten Gesteinstaube war nicht erforderlich, weil die Versuchswerte sich im großen und ganzen um die Linien Do und D 100 gruppieren und somit die Feinheit des Gesteinstaubes daraus hervor-


Entzündlichkeit der Andreaskohle.
Entzündlichkeitskennziffer L
A 0
D 0
A 100
D 100
Feinheitskennziffer des Kohlenstaubes.
fc


Entzündlichkeit der Achenbachkohle.
Entzündlichkeitskennziffer L
A 0
D 0
A 100
D 100
Feinheitskennziffer des Kohlenstaubes.
fc

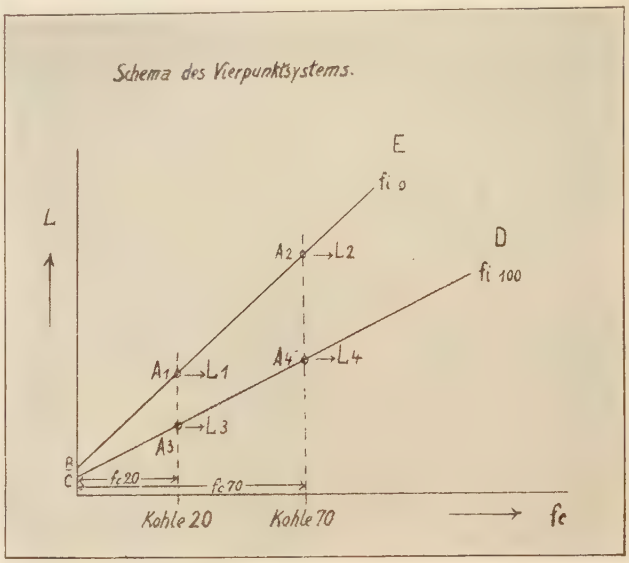

Entzündlichkeit der amerikanischen Kohle A 20
Entzündlichkeitskennziffer L
A 0
D 0
A 100
D 100
Feinheitskennziffer des Kohlenstaubes.
fc

geht. Zur besseren Kenntlichmachung sind die Bereiche der beiden Berechnungsmethoden in verschiedenen Richtungen schraffiert, so daß das Ueberschneidungsgebiet beider doppelt schraffiert erscheint. Es ist bezeichnend, daß diese gemeinsame Fläche bei der Andreaskohle mit den stark differierenden Werten von a (0,214 und 0,122) und ebenso bei der Achenbachkohle (a = 0,193 und 0,093) außerordentlich klein ist, weil die erheblich größeren Neigungskonstanten nach Godbert und Greenwald den Entzündlichkeitsbereich stark nach oben verschoben haben. Ferner stimmen auch die Spannweiten der Winkelschenkel A o A 100 und D o D 100, die sich aus der Größe des Potenzexponenten m ergeben, in beiden Fällen nicht überein. Während sich das Winkelsegment D o D 100 mit m = 0,6 gut dem tatsächlichen Entzündlichkeitsgebiet anpaßt, ist das Winkelsegment A o A 100 mit m = 0,4 viel zu schmal, um überhaupt die erforderliche Fläche auszufüllen. Günstiger liegen die Verhältnisse bei der Kohle A 20, bei der auch ein erheblich größerer gemeinsamer Bereich festzustellen ist. Auch liegen hier die Verhältnisse bezüglich der Spannweiten gerade umgekehrt. Man hat den Eindruck, daß das Winkelsegment A o A 100 (m = 0,4) etwas zu groß, dagegen das Winkelsegment D o D 100 (m = 0,3) zu schmal ist.

Aus der mathematischen Nachprüfung der amerikanischen Formel ergibt sich bereits in großen Zügen die neue Lösung des Problems, eine für alle Versuchskohlen anwendbare Berechnungsmöglichkeit zu finden. Als Grundlage gilt auch hier die allgemeine Gleichung 2) [S. 27], die von Godbert und Greenwald aufgestellt und durch die gesamten Versuchsergebnisse vollauf bestätigt ist. Es ist hierbei nicht ganz einfach, den rechten Mittelweg zwischen mathematischer Genauigkeit und praktischer Einfachheit zu finden, weil sich beide Disziplinen in ihren Forderungen entgegenstehen. Einerseits wird die Gleichung in ihrem Anpassungsvermögen an die Versuchsergebnisse um so besser, je mehr Versuchspunkte als Grundlage dienen, andererseits entfernt man sich damit auch immer weiter von der praktischen Anwendbarkeit.

Auf Grund zahlreicher Berechnungen wurde schließlich ein Schema gefunden, das als „Vierpunktsystem“ bezeichnet wird, und das sowohl eine ausreichende Genauigkeit gewährleistet, als auch praktisch noch tragbar ist. In folgender Abbildung ist das Prinzip desselben dargestellt.

Man geht von insgesamt 4 Entzündlichkeitsversuchen aus, die mit den Kohlen 20 und 70 und mit den Gesteinstauben 0 und 100 ausgeführt werden, und erhält so graphisch 4 Punkte: A 1, A 2, A 3 und A 4 mit den entsprechenden Entzündlichkeitskennziffern: L 1, L 2, L 3 und L 4. Dadurch ist im wesentlichen der Entzündlichkeits-



bereich der Kohle umfaßt und festgelegt. Nunmehr berechnet man nach Gleichung 4) [S. 28] den Potenzexponenten m, und zwar erhält man aus L 2, L 4, fi_0 und fi_{100} sowie L 1, L 3, fi_0 und fi_{100} je eine Zahl, deren arithmetisches Mittel, abgerundet auf die erste Stelle hinter dem Komma, der endgültige Wert ist. Auf gleiche Weise ergeben sich gemäß Gleichung 5) [S. 29] aus L 1, L 2, fc_{20} und fc_{70} sowie L 3, L 4, fc_{20} und fc_{70} zwei Werte für die Neigungskontante a, die ebenfalls gemittelt werden. Schließlich erhält man aus Gleichung 6) noch 4 Werte für b, so daß auch diese Konstante eindeutig festliegt. Die nach dem Vierpunktsystem berechneten Konstanten sind nunmehr für das gesamte Versuchsmaterial in nachstehender Zahlentafel angegeben (Tab. 19).

Es ist selbstverständlich, daß, wenn man die Erweiterung der Grundlage auf vier Versuchspunkte vom praktischen Gesichtspunkte aus rechtfertigen will, man eine erheblich bessere Angleichung an die Versuchsergebnisse nachweisen muß. An und für sich ist dieser Nachweis zwar schon nach den gemachten Ausführungen erbracht, aber vielleicht ist es noch beweiskräftiger, wenn man nach beiden Methoden, also sowohl nach Godbert und Greenwald als auch nach dem Vierpunktsystem, das gesamte Versuchsmaterial — insgesamt 13 Kohlen (mit

Tab. 19. Errechnete Werte des Potenzexponenten m und der Konstant. a u. b nach dem Vierpunktsystem.

Kohle	Potenz-exponent m	Neigungs-konstante a	Einschnitts-konstante b
Andreas	0,6	0,324	+ 8,5
Pochhammer . .	0,5	0,139	+ 1,9
Schuckmann . .	0,4	0,075	— 1,3
Kennel	0,4	0,05	+ 1,3
Gneisenau	0,5	0,153	— 2,1
Achenbach . . .	0,6	0,252	+ 16,0
Bismarck	0,5	0,187	+ 7,0
Rudolfgrube . .	0,4	0,13	— 3,6
Fuchsgrube . . .	0,5	0,154	— 1,8
A 20	0,3	0,059	+ 2,8
A 12	0,5	0,138	— 3,0
A 7	0,4	0,051	— 1,5
A 6	0,3	0,019	— 0,5

ca. 650 Entzündlichkeitsversuchen) — berechnet und die mittlere Abweichung bestimmt. Hierbei dürfte es für den Bergmann von besonderem Wert sein, die mittlere Schwankung im Gebiet der Grubenstaube (Feinheit 20 bis 30) feststellen zu können, da dort der Berechnung die größte praktische Bedeutung zukommt. In nachfolgender Zahlentafel sind die Berechnungsergebnisse nach beiden Methoden bezüglich ihrer Abweichungen gegenübergestellt.

Tab. 20. Mittlere Abweichungen der errechneten Werte von den experimentell gefundenen Werten der Entzündlichkeit nach dem Vierpunktsystem und nach Godbert und Greenwald.

Kohle	Nach dem Vierpunkt-System		Nach Godbert und Greenwald	
	Mittlere Schwankung insgesamt %	Mittlere Schwankung im Bereich der Grubenstaube %	Mittlere Schwankung insgesamt %	Mittlere Schwankung im Bereich der Grubenstaube %
Andreas . . .	2,5	0,9	8,3	11,1
Pochhammer	2,5	2,7	14,1	15,6
Schuckmann	4,1	4,4	7,8	13,2
Kennel . . .	2,7	3,1	6,5	7,0
Gneisenau .	4,6	3,8	7,7	9,0
Achenbach .	1,6	1,2	9,4	12,0
Bismarck . .	2,8	1,4	5,0	6,7
Rudolfgrube	2,9	1,2	6,2	8,0
Fuchsgrube	2,6	2,1	4,5	2,2
A 20	2,2	1,6	2,9	3,2
A 12	3,7	1,9	3,3	4,3
A 7	3,0	2,7	2,7	1,9
A 6	3,0	2,7	2,1	2,2
im Mittel . .	2,9	2,3	6,2	7,4

Nimmt man 5% mittlere Abweichung als die äußerste Grenze dessen an, was noch als erträglich anzusehen ist, so geht aus vorstehender Zahlentafel hervor, daß die Methode nach Godbert und Greenwald bei 13 Versuchskohlen in acht Fällen versagt hat, während das Vierpunktsystem dem gesamten Versuchsmaterial gerecht wird. Ferner liegen die mittleren Abweichungen bei Godbert und Greenwald insgesamt um mehr als das Doppelte und bei den Grubenstauben sogar um mehr als das Dreifache durchschnittlich höher als bei dem Vierpunktsystem. Zweifellos wären die Unterschiede noch augenfälliger, wenn nicht durch die Eigenart der Gleichung 1) [S. 26], die L mit S verknüpft, gerade bei den hohen Entzündlichkeiten durch Umrechnung von L nach S eine Verringerung der Schwankungen auftreten würde. Differenziert man nämlich die Gleichung

$$L = \frac{S}{100 - S}$$

nach S, so erhält man die Differentialfunktion:

$$\frac{dL}{dS} = \frac{100}{(100 - S)^2} .$$

Dieselbe würde z. B. für S = 90 besagen, daß $\frac{dL}{dS} = 1$ ist. Aendert sich also S von 89,5 auf 90,5%, so ändert sich dementsprechend L von ca. 8,5 auf 9,5, d. h. einer Schwankung von ca. 10% bei L steht nur eine Abweichung von ca. 1% bei S gegenüber. Für kleine Werte von S schlägt allerdings dieser Umstand gerade ins Gegenteil um. Wenn für die mathematische Auswertung die Pechkohle sowie die Braunkohle nicht mit herangezogen worden sind, so ist die Unempfindlichkeit dieser Umrechnung teilweise dabei von ausschlaggebender Bedeutung gewesen. Bei der Braunkohle liegen nämlich die Entzündlichkeitswerte durchweg so hoch, daß schließlich jede nur annähernde Gleichung zu scheinbar guter Uebereinstimmung geführt hätte. Bei der Pechkohle wurde wegen des sehr hohen Aschegehaltes (über 40%) Abstand genommen, zumal Godbert und Greenwald besonders darauf hinweisen, daß es noch nicht feststeht, ob natürlicher und künstlicher Aschegehalt bezüglich ihres Einflusses auf die Entzündlichkeit gleichzusetzen sind. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß der natürliche Aschegehalt, soweit er nicht aus Verunreinigungen durch Berge besteht, zweifelsohne eine mit der brennbaren Substanz innigere Mischung (Infiltration) darstellt, als der später künstlich beigemengte inerte Gesteinstaub.

VI. Zusammenfassung.

Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

1. Für die Bestimmung der relativen spezifischen Oberflächen feiner Staube ist eine qualitative Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung auch unter 60 μ (Windsichtung, Schlämmen oder Sedimentation) erforderlich, da die Feinheitskennziffern solcher Staube in weiten Grenzen von der Zerreiblichkeit des Mahlgutes abhängen. Der von Godbert und Greenwald angegebene summarische Wert von 445 gilt nur unter der Voraussetzung, daß eine grobe Annäherung beabsichtigt ist.

2. Die Entzündlichkeitswerte der deutschen Kohlen lassen sich im allgemeinen bezüglich ihres Gehaltes an flüchtigen brennbaren Bestandteilen in den Kurvenzug der britischen und amerikanischen Kohlen einordnen, auch kann die von Wheeler und Mason formulierte Beziehung $S = 100 - \frac{1250}{V}$ auf Grubenstaube angewandt werden; allerdings treten hierbei einige nicht unerhebliche Abweichungen auf.

3. Es wurde versucht, diese Unregelmäßigkeiten deutscher Kohlen petrographisch zu deuten. Hierbei wurde festgestellt, daß stark duritische Kohlen teilweise erheblich geringere Entzündlichkeiten aufwiesen, als ihren Wheeler'schen Werten entsprach, während umgekehrt vitritische Kohlen leichter entzündlich waren, als nach der theoretischen Berechnung zu erwarten war. Das Bild war jedoch insofern wenig einheitlich, als auch Kohlen mit hohem Vitritgehalt zu geringe Entzündlichkeiten zeigten, so daß von einer Allgemeingültigkeit dieser These keine Rede sein kann.

4. Die von Godbert und Greenwald aufgestellte Gleichung

$$L = \frac{a \cdot fc + b}{fi^m},$$

die den Einfluß der Feinheit des Kohlen- und Gesteinstaubes auf die Entzündlichkeit des Kohlenstaubes angibt, wurde einer Nachprüfung unterzogen und dabei festgestellt, daß sich die Konstanten a und b aus der Normalentzündlichkeitskennziffer Lo nicht richtig berechnen lassen. Ferner ist auch der Potenzexponent m keine von der Kohlenart unabhängige Konstante. Vielmehr besteht zwischen Entzündlichkeit der Kohle und zahlenmäßiger Größe von m ein Zusammenhang. Anstelle der Godbert-Greenwald'schen Methode wurde deshalb ein neues Verfahren, das „Vierpunktsystem", eingeführt und mit beiden Methoden sämtliche Versuchskohlen berechnet. Es zeigte sich, daß das Vierpunktsystem bei allen Versuchskohlen — auch den amerikanischen — eine befriedigende Angleichung an die Versuchsergebnisse aufwies, während die Godbert-Greenwald'sche Methode in acht Fällen versagte.

VII. Formelverzeichnis.

1. Intrapolationsformel: $Bi = B + 0{,}5 \cdot (N - 1)$

2. Berechnungsformel für S:

$$S = Bi + \frac{100 - Bi}{100} \cdot (A + F)$$

A: Aschegehalt
F: Wassergehalt

3. Berechnungsformeln für F (Feinheitskennziffer),

a) grober Staub:

$$F = 0{,}162\ p_1 + 0{,}192\ p_2 + 0{,}243\ p_3 + 0{,}354\ p_4 + 0{,}506\ p_5 + 0{,}702\ p_6 + p_7$$

b) feiner Staub:

$$F = 1{,}31\ p_8 + 1{,}77\ p_a + 2{,}36\ p_b + 2{,}72\ p_c + 3{,}22\ p_d + 3{,}94\ p_e + 5{,}06\ p_f + 7{,}08\ p_g + 22{,}16\ p_h.$$

Wheeler-Mason'sche Gleichung:

$$S = 100 - \frac{1250}{V}$$

V: Gehalt an flüchtigen brennbaren Bestandteilen

4. Entzündlichkeitskennziffer L:

a) $L = \frac{S}{100 - S}$ b) $S = \frac{100\ L}{1 + L}$

5. Allgemeine Entzündlichkeitsgleichung:

$$L = \frac{a \cdot fc + b}{fi^m}$$

6. Godbert-Greenwald'sche Modifikation der Entzündlichkeitsgleichung:

$$L = \frac{0{,}075\ Lo \cdot (fc + 40\ Lo - 55)}{fi^{0{,}4}}$$

Lo = Normalentzündlichkeitskennziffer (Kohlenstaub 20% fein, Gesteinstaub 30% fein)

7. Gleichung für den Potenzexponenten m:

$$m = \frac{\log L_1 - \log L_2}{\log fi_2 - \log fi_1}$$

8. Gleichung für die Neigungskonstante a:

$$a = fi^m \cdot \frac{L_2 - L_1}{fc_2 - fc_1}$$

9. Gleichung für die Einschnittskonstante b:

$$b = fi^m \cdot \left(L_1 - \frac{L_2 - L_1}{fc_2 - fc_1} \cdot fc_1\right) = fi^m \cdot \left(L_2 - \frac{L_2 - L_1}{fc_2 - fc_1} \cdot fc_2\right)$$

10. Berechnungsgleichungen für L:

Kohle	Formel nach dem Vierpunktsystem	Formel nach Godbert und Greenwald
Andreas	$L = \frac{0{,}324 \cdot fc + 8{,}5}{fi^{0{,}6}}$	$L = \frac{0{,}214 \cdot fc + 12{,}6}{fi^{0{,}4}}$
Pochhammer . .	$L = \frac{0{,}139 \cdot fc + 1{,}9}{fi^{0{,}5}}$	$L = \frac{0{,}193 \cdot fc + 9{,}2}{fi^{0{,}4}}$
Schuckmann . .	$L = \frac{0{,}075 \cdot fc - 1{,}3}{fi^{0{,}4}}$	$L = \frac{0{,}096 \cdot fc - 0{,}4}{fi^{0{,}4}}$
Kennel	$L = \frac{0{,}05 \cdot fc + 1{,}3}{fi^{0{,}4}}$	$L = \frac{0{,}072 \cdot fc - 1{,}2}{fi^{0{,}4}}$
Gneisenau	$L = \frac{0{,}153 \cdot fc - 2{,}1}{fi^{0{,}5}}$	$L = \frac{0{,}139 \cdot fc + 2{,}7}{fi^{0{,}4}}$
Achenbach . . .	$L = \frac{0{,}252 \cdot fc + 16}{fi^{0{,}6}}$	$L = \frac{0{,}193 \cdot fc + 9{,}2}{fi^{0{,}4}}$
Bismarck	$L = \frac{0{,}187 \cdot fc + 7{,}0}{fi^{0{,}5}}$	$L = \frac{0{,}167 \cdot fc + 5{,}7}{fi^{0{,}4}}$
Rudolfgrube . .	$L = \frac{0{,}13 \cdot fc - 3{,}6}{fi^{0{,}4}}$	$L = \frac{0{,}139 \cdot fc + 2{,}7}{fi^{0{,}4}}$
Fuchsgrube . . .	$L = \frac{0{,}154 \cdot fc - 1{,}8}{fi^{0{,}5}}$	$L = \frac{0{,}108 \cdot fc + 0{,}24}{fi^{0{,}4}}$
A 20	$L = \frac{0{,}059 \cdot fc + 2{,}8}{fi^{0{,}3}}$	$L = \frac{0{,}133 \cdot fc + 2{,}1}{fi^{0{,}4}}$
A 12	$L = \frac{0{,}138 \cdot fc - 3{,}0}{fi^{0{,}5}}$	$L = \frac{0{,}092 \cdot fc - 0{,}6}{fi^{0{,}4}}$
A 7	$L = \frac{0{,}051 \cdot fc - 1{,}5}{fi^{0{,}4}}$	$L = \frac{0{,}054 \cdot fc - 1{,}4}{fi^{0{,}4}}$
A 6	$L = \frac{0{,}019 \cdot fc - 0{,}5}{fi^{0{,}3}}$	$L = \frac{0{,}035 \cdot fc - 1{,}3}{fi^{0{,}4}}$

VIII. Anhang.

24 Zahlentafeln Nr. 1—24

Zahlentafel Nr. 1

Siebanalyse von Kohle Königin Luisegrube Andreas-Flöz 3

Grober Staub

Fraktion	I	(545 μ) =	6,52%
„	II	(460 μ) =	19,64%
„	III	(365 μ) =	26,20%
„	IV	(250 μ) =	21,08%
„	V	(175 μ) =	9,32%
„	VI	(126 μ) =	10,48%
„	VII	(88,5 μ) =	4,60%
„	VIII	(67,5 μ) =	1,56%
„	IX	(30 μ) =	0,44%

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

13,60% 60 bis 75 μ
und: 86,40% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 μ	12,236%
10—15 μ	15,391%
15—20 μ	11,219%
20—25 μ	6,159%
25—30 μ	10,603%
30—35 μ	13,050%
35—40 μ	11,680%
40—60 μ	19,662%

Zahlentafel Nr. 2

Siebanalyse von Castellengogrube Pochhammer-Kohle

Grober Staub

Fraktion	I	(545 μ) =	3,08%
„	II	(460 μ) =	8,56%
„	III	(365 μ) =	15,64%
..	IV	(250 μ) =	24,56%
„	V	(175 μ) =	15,56%
„	VI	(126 μ) =	20,20%
„	VII	(88,5 μ) =	12,32%

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

10,30% 60 bis 75 μ
und: 89,70% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 μ	10,715%
10—15 μ	17,142%
15—20 μ	10,761%
20—25 μ	6,752%
25—30 μ	12,000%
30—35 μ	9,922%
35—40 μ	14,328%
40—60 μ	18,380%

Zahlentafel Nr. 3

Siebanalyse von Kohle Castellengogrube Schuckmann-Niederbank

Grober Staub

Fraktion	I	(545 μ) =	4,68%
„	II	(460 μ) =	13,48%
„	III	(365 μ) =	21,04%
„	IV	(250 μ) =	24,84%
„	V	(175 μ) =	14,28%
„	VI	(126 μ) =	13,52%
„	VII	(88,5 μ) =	8,04%

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

6,20% 60 bis 75 μ
und: 93,80% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 μ	8,694%
10—15 μ	16,374%
15—20 μ	13,982%
20—25 μ	6,578%
25—30 μ	7,899%
30—35 μ	14,681%
35—40 μ	13,960%
40—60 μ	17,832%

Zahlentafel Nr. 4

Siebanalyse von Castellengo Kennel-Kohle

Grober Staub

Fraktion	I	(545 μ) =	6,20%
„	II	(460 μ) =	14,20%
„	III	(365 μ) =	20,72%
„	IV	(250 μ) =	19,28%
„	V	(175 μ) =	12,44%
„	VI	(126 μ) =	15,44%
„	VII	(88,5 μ) =	11,72%

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

12,10% 60 bis 75 μ
und: 87,90% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 μ	15,230%
10—15 μ	16,223%
15—20 μ	14,028%
20—25 μ	3,066%
25—30 μ	12,087%
30—35 μ	11,271%
35—40 μ	9,865%
40—60 μ	18,230%

Zahlentafel Nr. 5

Siebanalyse von Kohle Zeche Gneisenau Flöz 4

Grober Staub

Fraktion	I	(545 µ) =	6,28%
„	II	(460 µ) =	13,64%
„	III	(365 µ) =	24,08%
„	IV	(250 µ) =	23,88%
„	V	(175 µ) =	9,12%
„	VI	(126 µ) =	12,32%
„	VII	(88,5 µ) =	7,76%
„	VIII	(67,5 µ) =	2,20%
„	IX	(30 µ) =	0,72%

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

14,00% 60 bis 75 µ

und: 86,00% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 µ	9,390%
10—15 µ	15,850%
15—20 µ	8,732%
20—25 µ	7,089%
25—30 µ	9,939%
30—35 µ	5,248%
35—40 µ	15,092%
40—60 µ	28,660%

Zahlentafel Nr. 6

Siebanalyse von Kohle Zeche Minister Achenbach S. I/II

Grober Staub

Fraktion	I	(545 µ) =	5,88%
„	II	(460 µ) =	15,00%
„	III	(365 µ) =	21,44%
„	IV	(250 µ) =	20,60%
„	V	(175 µ) =	11,88%
„	VI	(126 µ) =	13,00%
„	VII	(88,5 µ) =	7,24%
„	VIII	(67,5 µ) =	3,28%
„	IX	(30 µ) =	1,60%

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

7,20% 60 bis 75 µ

und: 92,80% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 µ	11,412%
10—15 µ	15,050%
15—20 µ	14,146%
20—25 µ	4,291%
25—30 µ	9,063%
30—35 µ	15,509%
35—40 µ	15,826%
40—60 µ	14,703%

Zahlentafel Nr. 7

Siebanalyse von Zeche Graf Bismarck

Grober Staub

Fraktion	I	(545 µ) =	11,32%
„	II	(460 µ) =	20,48%
„	III	(365 µ) =	23,88%
„	IV	(250 µ) =	19,32%
„	V	(175 µ) =	9,40%
„	VI	(126 µ) =	9,08%
„	VII	(88,5 µ) =	4,20%
„	VIII	(67,5 µ) =	1,80%
„	IX	(30 µ) =	0,40%

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

19,40% 60 bis 75 µ

und: 80,60% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 µ	8,044%
10—15 µ	15,245%
15—20 µ	11,393%
20—25 µ	8,207%
25—30 µ	6,914%
30—35 µ	11,978%
35—40 µ	16,791%
40—60 µ	21,428%

Zahlentafel Nr. 8

Siebanalyse von Kohle Rudolfgrube 8. Flöz Südfeld

Grober Staub

Fraktion	I	(545 µ) =	4,40%
„	II	(460 µ) =	13,40%
„	III	(365 µ) =	23,20%
„	IV	(250 µ) =	22,40%
„	V	(175 µ) =	11,20%
„	VI	(126 µ) =	14,52%
„	VII	(88,5 µ) =	9,20%
„	VIII	(67,5 µ) =	0,20%
„	IX	(30 µ) =	1,40%

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

17,80% 60 bis 75 µ

und: 82,20% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 µ	10,818%
10—15 µ	9,394%
15—20 µ	16,338%
20—25 µ	3,335%
25—30 µ	7,973%
30—35 µ	15,760%
35—40 µ	14,300%
40—60 µ	22,082%

Zahlentafel Nr. 9

Siebanalyse von Kohle Fuchsgrube 9. Flöz

Grober Staub

Fraktion	I	(545 μ) =	7,84%
„	II	(460 μ) =	14,52%
„	III	(365 μ) =	20,88%
„	IV	(250 μ) =	21,60%
„	V	(175 μ) =	12,20%
„	VI	(126 μ) =	13,28%
„	VII	(88,5 μ) =	7,40%
„	VIII	(67,5 μ) =	2,00%
„	IX	(30 μ) =	0,20%

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

12,44% 60 bis 75 μ

und: 87,56% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 μ	8,562%
10—15 μ	14.286%
15—20 μ	13,746%
20—25 μ	2,548%
25—30 μ	8,298%
30—35 μ	17,714%
35—40 μ	12,618%
40—60 μ	22,228%

Zahlentafel Nr. 10

Siebanalyse von Braunkohle

Grober Staub

Fraktion	I	(545 μ) =	7,60%
„	II	(460 μ) =	13,60%
„	III	(365 μ) =	19,32%
„	IV	(250 μ) =	22,00%
„	V	(175 μ) =	14,64%
„	VI	(126 μ) =	13,36%
„	VII	(88,5 μ) =	6,40%
„	VIII	(67,5 μ) =	2,60%
„	IX	(30 μ) =	0,40%

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

4,80% 60 bis 75 μ

und: 95,20% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 μ	15,084%
10—15 μ	16,414%
15—20 μ	13,812%
20—25 μ	3,178%
25—30 μ	7,530%
30—35 μ	18,293%
35—40 μ	11,088%
40—60 μ	14,601%

Zahlentafel Nr. 11

Siebanalyse von Pechkohle

Grober Staub

Fraktion	I	(545 μ) =	7,92%
„	II	(460 μ) =	14,80%
„	III	(365 μ) =	22,60%
„	IV	(250 μ) =	22,08%
„	V	(175 μ) =	12,60%
„	VI	(126 μ) =	13,56%
„	VII	(88,5 μ) =	5,80%
„	VIII	(67,5 μ) =	0,60%
„	IX	(30 μ) =	—

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

21,40% 60 bis 75 μ

und: 78,60% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 μ	9,444%
10—15 μ	9,800%
15—20 μ	2,787%
20—25 μ	9,803%
25—30 μ	12,729%
30—35 μ	14,471%
35—40 μ	2,622%
40—60 μ	38,344%

Zahlentafel Nr. 12

Siebanalyse von Marmorstaub I

Grober Staub

Fraktion	I	(545 μ) =	2,00%
„	II	(460 μ) =	8,48%
„	III	(365 μ) =	9,72%
„	IV	(250 μ) =	18,20%
„	V	(175 μ) =	14,88%
„	VI	(126 μ) =	34,32%
„	VII	(88,5 μ) =	12,08%

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

17,60% 60 bis 75 μ

und: 82,40% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 μ	4,266%
10—15 μ	6,284%
15—20 μ	5,456%
20—25 μ	10,655%
25—30 μ	8,137%
30—35 μ	5,566%
35—40 μ	9,888%
40—60 μ	49,748%

Zahlentafel Nr. 13

Siebanalyse von Marmorstaub II

Grober Staub

Fraktion	I	(545 μ) =	1,60%
„	II	(460 μ) =	3,60%
„	III	(365 μ) =	8,28%
„	IV	(250 μ) =	18,68%
„	V	(175 μ) =	17,16%
„	VI	(126 μ) =	27,12%
„	VII	(88,5 μ) =	18,00%
„	VIII	(67,5 μ) =	5,56%

Feiner Staub

Die Siebanalyse ergab:

26,68% 60 bis 75 μ
und: 73,32% Durchgang durch das DIN-Sieb Nr. 100

Die Gonell-Analyse ergab:

0—10 μ	6,230%
10—15 μ	9,827%
15—20 μ	7,226%
20—25 μ	14,218%
25—30 μ	3,481%
30—35 μ	9,054%
35—40 μ	11,474%
40—60 μ	38,490%

Zahlentafel Nr. 14

Kohle Königin-Luisegrube Andreasflöz 3

Fraktion	Spezifisches Gewicht bei 15° C	Wasser %	Asche %	Brennbare Substanz %	Koks %	Flüchtige Bestandteile: Außer Feuchtigkeit %	Flüchtige Bestandteile: Auf Reinkohle berechnet %
I	1,31	1,35	4,94	93,71	63,13	35,52	37,90
II	1,31	1,39	2,78	95,83	62,89	35,72	37,27
III	1,32	1,53	3,17	95,30	63,34	35,13	36,86
IV	1,31	1,74	2,41	95,85	63,88	34,38	35,87
V	1,31	1,57	2,96	95,47	64,11	34,32	35,95
VI	1,31	1,56	3,66	94,78	64,53	33,91	35,78
VII	1,32	1,54	3,94	94,52	64,86	33,60	35,55
VIII	1,32	1,87	4,15	93,98	64,34	33,79	35,95
IX	1,35	2,02	5,26	92,72	67,48	30,50	32,90
Grob	1,31	1,61	2,54	95,85	64,29	34,10	35,58
Fein	1,35	2,03	5,48	92,49	67,29	30,68	33,17

Zahlentafel Nr. 15

Castellengogrube Pochhammer-Kohle

Fraktion	Spezifisches Gewicht bei 15° C	Wasser %	Asche %	Brennbare Substanz %	Koks %	Flüchtige Bestandteile: Außer Feuchtigkeit %	Flüchtige Bestandteile: Auf Reinkohle berechnet %
I	1,374	2,51	4,19	93,30	60,22	37,27	39,95
II	1,350	2,51	4,21	93,28	60,90	36,59	39,23
III	1,363	2,52	3,95	93,53	60,76	36,72	39,26
IV	1,344	2,41	3,68	93,91	60,96	36,63	39,01
V	1,338	2,54	4,24	93,22	61,53	35,93	38,54
VI	1,341	2,68	4,57	92,75	61,47	35,85	38,65
VII	1,358	2,59	5,34	92,07	62,53	34,88	37,88
VIII	1,379	2,99	7,04	89,97	62,06	34,95	38,85
IX	1,467	2,91	8,99	88,10	62,73	34,38	39,02
Grob	1,342	2,49	4,21	93,30	61,23	36,28	38,88
Fein	1,417	2,81	10,05	87,14	62,99	34,20	39,25

Zahlentafel Nr. 16

Castellengogrube Schuckmann-Niederbank

Fraktion	Spezifisches Gewicht bei 15° C	Wasser %	Asche %	Brennbare Substanz %	Koks %	Flüchtige Bestandteile: Außer Feuchtigkeit %	Flüchtige Bestandteile: Auf Reinkohle berechnet %
I	1,382	3,34	7,09	89,57	62,85	33,81	37,75
II	1,385	3,10	6,95	89,95	63,49	33,41	37,14
III	1,398	3,27	6,69	90,04	63,10	33,63	37,35
IV	1,407	3,25	7,43	89,32	63,28	33,47	37,47
V	1,408	3,23	7,92	88,85	63,47	33,30	37,48
VI	1,413	2,67	8,84	88,49	63,40	33,93	38,34
VII	1,416	2,57	8,92	88,51	63,54	33,89	38,29
VIII	1,438	2,98	10,81	86,21	63,96	33,06	38,35
IX	1,473	3,35	12,32	84,33	65,00	31,65	37,53
Grob	1,371	2,64	6,41	91,25	63,27	34,09	37,36
Fein	1,451	2,91	11,64	85,45	65,51	31,58	36,96

Zahlentafel Nr. 17

Castellengogrube Kennel-Kohle

Fraktion	Spezifisches Gewicht bei 15° C	Wasser %	Asche %	Brennbare Substanz %	Koks %	Flüchtige Bestandteile: Außer Feuchtigkeit %	Flüchtige Bestandteile: Auf Reinkohle berechnet %
I	1,427	2,00	13,60	84,40	68,21	29,79	35,30
II	1,423	2,15	13,72	84,13	68,26	29,59	35,17
III	1,423	1,85	13,98	84,17	68,55	29,60	35,17
IV	1,430	1,99	14,07	83,94	68,62	29,39	35,01
V	1,428	1,98	14,10	83,92	68,54	29,48	35,13
VI	1,434	1,97	14,10	83,93	68,28	29,75	35,45
VII	1,437	2,40	14,19	83,41	68,19	29,41	35,26
VIII	1,438	2,25	14,35	83,40	68,19	29,56	35,44
IX	1,467	2,67	16,32	81,01	69,05	28,28	34,91
Grob	1,456	2,63	15,68	81,69	68,47	28,90	35,38
Fein	1,476	2,95	16,26	80,79	68,45	28,60	35,40

Zahlentafel Nr. 18

Kohle Zeche Gneisenau Flöz 4

Fraktion	Spezifisches Gewicht bei 15° C	Wasser %	Asche %	Brennbare Substanz %	Koks %	Flüchtige Bestandteile: Außer Feuchtigkeit %	Flüchtige Bestandteile: Auf Reinkohle berechnet %
I	1,30	0,85	2,34	96,81	73,72	25,43	26,27
II	1,31	0,80	2,62	96,58	73,76	25,44	26,34
III	1,30	0,94	2,55	96,51	73,59	25,47	26,39
IV	1,31	0,89	2,90	96,21	73,96	25,15	26,14
V	1,31	0,87	3,36	95,77	73,52	25,61	26,74
VI	1,32	0,95	3,70	95,35	74,60	24,45	25,64
VII	1,33	0,94	4,55	94,51	75,08	23,98	25,37
VIII	1,34	1,05	5,15	93,80	75,32	23,63	25,19
IX	1,34	1,08	4,37	94,55	76,08	22,84	24,16
Grob	1,31	0,90	2,28	96,82	74,06	25,04	25,86
Fein	1,34	1,25	4,56	94,19	75,24	23,51	24,96

Zahlentafel Nr. 19

Kohle von Zeche Minister Achenbach Sohle I/II

Fraktion	Spezifisches Gewicht bei 15° C	Wasser %	Asche %	Brennbare Substanz %	Koks %	Flüchtige Bestandteile: Außer Feuchtigkeit %	Flüchtige Bestandteile: Auf Reinkohle berechnet %
I	1,32	1,01	4,70	94,29	70,30	28,69	30,43
II	1,32	1,08	4,91	94,01	70,27	28,65	30,48
III	1,31	1,06	4,60	94,34	70,48	28,46	30,17
IV	1,32	0,98	4,70	94,32	70,64	28,38	30,09
V	1,33	0,92	5,92	93,16	71,07	28,01	30,07
VI	1,33	1,03	6,22	92,75	71,43	27,54	29,69
VII	1,33	0,96	6,67	92,37	71,89	27,15	29,39
VIII	1,35	1,33	6,85	91,82	72,46	26,21	28,54
IX	1,38	1,68	7,44	90,88	73,92	24,40	26,85
Grob	1,32	1,08	4,87	94,05	70,52	28,40	30,20
Fein	1,37	1,41	7,12	91,47	74,15	24,44	26,72

Zahlentafel Nr. 20

Kohle von Zeche Graf Bismarck

Fraktion	Spezifisches Gewicht bei 15° C	Wasser %	Asche %	Brennbare Substanz %	Koks %	Flüchtige Bestandteile: Außer Feuchtigkeit %	Flüchtige Bestandteile: Auf Reinkohle berechnet %
I	1,30	2,26	1,98	95,76	62,27	35,47	37,04
II	1,30	2,33	1,94	95,73	62,21	35,46	37,04
III	1,30	2,37	2,16	95,47	62,65	34,98	36,64
IV	1,31	2,48	2,38	95,14	62,74	34,78	36,56
V	1,32	2,52	2,78	94,70	63,26	34,22	36,14
VI	1,33	2,44	3,11	94,45	63,64	33,92	35,91
VII	1,33	2,36	3,82	93,82	64,22	33,42	35,62
VIII	1,34	2,78	4,36	92,86	64,48	32,74	35,26
IX	1,36	2,75	5,89	91,36	66,64	30,61	33,50
Grob	1,30	2,07	2,08	95,85	62,67	35,26	36,79
Fein	1,36	3,02	5,64	91,34	66,51	30,47	33,36

Zahlentafel Nr. 21

Kohle von Rudolfgrube 8. Flöz Südfeld

Fraktion	Spezifisches Gewicht bei 15° C	Wasser %	Asche %	Brennbare Substanz %	Koks %	Flüchtige Bestandteile: Außer Feuchtigkeit %	Flüchtige Bestandteile: Auf Reinkohle berechnet %
I	1,30	2,07	2,68	95,25	61,94	35,99	37,78
II	1,30	2,06	2,70	95,24	61,94	36,00	37,80
III	1,30	2,11	2,64	95,25	62,06	35,83	37,62
IV	1,30	1,99	3,03	94,98	62,53	35,48	37,35
V	1,31	2,15	3,02	94,83	62,49	35,36	37,29
VI	1,30	2,15	3,05	94,80	62,76	35,09	37,01
VII	1,31	2,05	3,54	94,41	63,58	34,37	36,40
VIII	1,32	2,55	4,21	93,24	64,41	33,04	35,44
IX	1,35	2,65	4,84	92,51	65,94	31,41	33,95
Grob	1,30	2,16	3,14	94,70	62,42	35,42	37,40
Fein	1,35	2,47	4,89	92,64	66,59	30,94	33,40

Zahlentafel Nr. 22

Kohle von Fuchsgrube 9. Flöz

Fraktion	Spezifisches Gewicht bei 15° C	Wasser %	Asche %	Brennbare Substanz %	Koks %	Flüchtige Bestandteile: Außer Feuchtigkeit %	Flüchtige Bestandteile: Auf Reinkohle berechnet %
I	1,34	1,75	4,98	93,27	64,96	33,29	35,69
II	1,35	1,71	5,19	93,10	65,02	33,27	35,74
III	1,34	1,73	5,55	92,72	65,17	33,10	35,70
IV	1,34	1,57	6,07	92,36	65,79	32,64	35,34
V	1,35	1,70	6,59	91,71	65,61	32,69	35,64
VI	1,37	1,76	6,85	91,39	66,12	32,12	35,15
VII	1,36	1,69	7,20	91,11	66,55	31,76	34,86
VIII	1,38	2,01	8,26	89,73	67,18	30,81	34,34
IX	1,41	2,03	9,94	88,03	69,08	28,89	32,82
Grob	1,33	1,71	4,75	93,54	65,44	32,85	35,12
Fein	1,39	2,23	8,38	89,39	68,63	29,14	32,60

Zahlentafel Nr. 23

Braunkohle des Braunkohlenwerks Löderburg

Fraktion	Spezifisches Gewicht bei 15° C	Wasser %	Asche %	Brennbare Substanz %	Koks %	Flüchtige Bestandteile: Außer Feuchtigkeit %	Flüchtige Bestandteile: Auf Reinkohle berechnet %
Grob	1,39	27,80	19,04	53,16	40,52	31,68	59,60
Fein	1,37	26,30	14,56	59,14	35,59	38,11	64,44
IX	1,35						

Fraktion Grob und Fein der Braunkohle bei ca. 50° C 5 Stunden getrocknet

Fraktion	Wasser %	Asche %	Brennbare Substanz %
Grob	8,50	25,68	65,82
Fein	9,62	17,23	73,15

Zahlentafel Nr. 24

Oberbayrische Pechkohle, Flöz Kleinkohl Grube Hausham

Fraktion	Spezifisches Gewicht bei 15° C	Wasser %	Asche %	Brennbare Substanz %	Koks %	Flüchtige Bestandteile: Außer Feuchtigkeit %	Flüchtige Bestandteile: Auf Reinkohle berechnet %
Grob	1,61	5,08	33,46	61,46	55,68	39,24	63,85
Fein	1,74	4,66	41,61	53,73	49,59	45,75	85,15
IX	1,74						

Lebenslauf

Wilhelm Arthur Albert Simon.

Personalien: Geboren am 27. Januar 1893 zu Kupferdreh, jetzt Essen-Kupferdreh. Religion katholisch, seit 1923 verheiratet, drei Kinder.

Bildungsgang: Volksschule sowie Rektoratschule zu Kupferdreh, Humboldt-Oberrealschule zu Essen. Abiturientenexamen dortselbst März 1913, Studium an der Bergakademie und Technischen Hochschule Berlin von 1914 bis 1918. Diplomexamen der Fachrichtung Bergbau im Januar 1919.

Berufsverhältnisse: Vor dem Studium einjährige praktische Ausbildung auf Ruhrzechen. Während der Studienzeit, ab 1. September 1915 bis 1. August 1917, Hochschulassistent, anschließend Kriegshilfsdienst bei der Kriegsrohstoffversorgung (Kriegschemikalien A.-G., Berlin) bis zum 1. März 1919. Dann Bergingenieur, später Prokurist und schließlich Geschäftsführer der Tiefbohrgesellschaft Anton Raky, Salzgitter a. H., bis 1. Juli 1922. Vom 1. November 1922 bis 30. September 1923 Hilfsarbeiter im Reichswirtschaftsministerium, ab 1. Oktober 1923 bis 31. Dezember 1925 technischer Leiter einer Bergbau-Unternehmerfirma und vom 1. Januar 1926 bis 30. September 1929 Prokurist und Verkaufsleiter der Bergbau-Maschinenfabrik Gebr. Eickhoff, Bochum, Abt. Beuthen O.-S. Seit dem 1. Oktober 1929 Direktor bei der Lignose Sprengstoffwerke G. m. b. H., Berlin, und Leiter der Zweigniederlassung Beuthen O.-S. derselben.